



Lorena Pastana Martins

**CARACTERIZAÇÃO DE MICROFÁCIES EM FOLHELHOS
ASSOCIADOS ÀS COQUINAS DA FORMAÇÃO MORRO DO CHAVES
(JIQUEIÁ), BACIA DE SERGIPE-ALAGOAS**

**Trabalho Final de Curso
(Geologia)**

Rio de Janeiro
2017



UFRJ

Lorena Pastana Martins

**CARACTERIZAÇÃO DE MICROFÁCIES EM FOLHELHOS ASSOCIADOS ÀS
COQUINAS DA FORMAÇÃO MORRO DO CHAVES (JIQUEIÁ), BACIA DE
SERGIPE-ALAGOAS**

Trabalho Final de Curso de Graduação em
Geologia do Instituto de Geociências,
Universidade Federal do Rio de Janeiro –
UFRJ, apresentado como requisito
necessário para obtenção do grau de
Geólogo.

Orientadores:

Leonardo Fonseca Borghi de Almeida
Marcelo da Silva Mendes
Bruno Valle de Oliveira

Rio de Janeiro

Março 2017

MARTINS, Lorena Pastana

Caracterização de microfácies em folhelhos associados às coquinas da Formação Morro do Chaves (Jiquiá), Bacia de Sergipe-Alagoas / Lorena Pastana Martins - - Rio de Janeiro: UFRJ / IGeo, 2017.

xv, 104 p. : il.; 30cm

Trabalho Final de Curso (Geologia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, 2017.

Orientadores: Leonardo Borghi, Marcelo Mendes, Bruno Valle.

1. Geologia. 2. Geologia Sedimentar – Trabalho de Conclusão de Curso. I. Leonardo, Borghi. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia. III. Caracterização de microfácies em folhelhos associados as coquinas da Formação Morro do Chaves (Jiquiá, Cretáceo Inferior), Bacia de Sergipe-Alagoas.

Lorena Pastana Martins

CARACTERIZAÇÃO DE MICROFÁCIES EM FOLHELHOS ASSOCIADOS ÀS
COQUINAS DA FORMAÇÃO MORRO DO CHAVES (JIQUEÁ), BACIA DE SERGIPE-
ALAGOAS

Trabalho Final de Curso de Graduação em
Geologia do Instituto de Geociências,
Universidade Federal do Rio de Janeiro –
UFRJ, apresentado como requisito
necessário para obtenção do grau de
Geólogo.

Orientadores:

Leonardo Fonseca Borghi de Almeida
Marcelo da Silva Mendes
Bruno Valle de Oliveira

Aprovada em:

Por:

Orientador: Prof. Dr. Leonardo Borghi (UFRJ)

M.Sc. Thiago Gonçalves Carelli (UFRJ)

Geol. Murilo Brandão de Medeiros (Shell)

UFRJ
Rio de Janeiro
2017

Dedico este trabalho aos meus pais, Elianete do Socorro Pastana Martins e Ruben Borges Martins Neto, e minha irmã, Larissa Helena Pastana Martins, por todo incentivo, compreensão e paciência, e por terem me dado a educação que me tornou quem eu sou hoje.

Agradecimentos

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus e à minha família, por serem a minha base e meu motivo maior para seguir em frente.

Aos meus orientadores Dr. Leonardo Borghi (UFRJ), M.Sc Marcelo Mendes e M.Sc. Bruno Valle, pela confiança, pelas oportunidades e por todos os ensinamentos, os quais foram fundamentais para a formação do meu conhecimento geológico.

À Shell pelo financiamento do Projeto SACL (Sergipe-Alagoas Carbonate Laboratory), apoiado pela ANP, ao qual este trabalho está vinculado.

Ao Laboratório de Geologia Sedimentar (Lagesed) da UFRJ pela estrutura fornecida e por todo o suporte necessário para o desenvolvimento deste trabalho.

À empresa Intercement por permitir o acesso à mina e a obtenção aos testemunhos de sondagem.

Ao CETEM, em especial ao Dr. Reiner Neumann, pela confecção da análise de DRX.

Ao Laboratório de Estratigrafia Química e Geoquímica Orgânica da UERJ, em especial ao Professor Egberto Pereira, pelas análises geoquímicas de Carbono Orgânico Total (COT).

Aos amigos do Lagesed, em especial à geóloga Ariely Luparelli, por todos os conselhos e discussões extremamente enriquecedoras que foram essenciais para minha formação; à geóloga Julia Favoreto, pela ajuda na confecção dos perfis integrados; à geóloga Amanda Goulart Rodrigues, pela ajuda na descrição das lâminas petrográficas; e ao geólogo Douglas Rosa, por me auxiliar na interpretação dos difratogramas de DRX. Vocês foram fundamentais para a realização deste trabalho!

Aos estagiários do Lagesed, em especial Pedro Delforge e Mariana Meirelles, pela amizade, descontração e ajuda na edição das imagens deste trabalho.

Aos meus amigos do curso de Geologia Carolina Salvador, Gabriel Ramiro e Bianca Saraiva, que tornaram esses anos de graduação inesquecíveis.

E por último, e não menos importante, agradeço ao meu namorado João Pedro Bento, pela paciência e por sempre me incentivar e fazer com que confie mais em mim mesma.

“Se você pode sonhar, você pode fazer.”

Walt Disney

Resumo

PASTANA MARTINS, Lorena. **Caracterização de microfácies em folhelhos associados às coquinas da Formação Morro do Chaves (Jiquiá), Bacia de Sergipe-Alagoas.** 2017. xv, 104 f. Trabalho Final de Curso (Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Folhelhos são rochas microclásticas físseis, podendo constituir-se em rochas geradoras, reservatório ou selantes em um sistema petrolífero. A Formação Morro do Chaves, de idade Jiquiá (Barremiano/Aptiano) da Bacia Sergipe-Alagoas, contém camadas de folhelhos e arenitos intercalados numa sucessão de camadas de coquinas depositadas em um paleoambiente lacustre, aflorantes na mina CIMPOR, antiga Pedreira Atol, em São Miguel dos Campos (AL). Tal afloramento é considerado um importante análogo para reservatórios carbonáticos do intervalo Pré-sal das bacias de Campos e Santos; no entanto, o estudo dos folhelhos presentes tem abordado apenas aspectos paleontológicos e geoquímicos orgânicos. Neste contexto, este trabalho tem por objetivo a caracterização microfaciológica desses folhelhos na sucessão estratigráfica das coquinas, com a finalidade de contribuir com as interpretações paleoambientais propostas atualmente na literatura. O material de estudo consiste em um testemunho contínuo de sondagem (poço 2-SMC-01-AL) com cerca de 150 metros. Os folhelhos foram descritos macroscopicamente em escala de detalhe (1:10) e foram analisadas 25 lâminas petrográficas para caracterização de microfácies (composição, textura e microestruturas), apoiadas por análise de DRX, análise geoquímica orgânica (COT) e perfil geofísico de poço (Perfis Raio-Gama e Caliper). Caracterizaram-se nove microfácies, sendo oito siliciclásticas, formadas texturalmente por argilitos, siltitos e arenito, compostas basicamente por quartzo, muscovita, feldspatos e argilominerais dos grupos da caulinita, clorita e illita, acrescentando-se ainda a calcita, relacionada à presença de valvas de ostracodes; e uma carbonática. A interpretação das microfácies aponta para contextos de lago alto e baixo, alternando condições oxidantes e redutoras, que estão associadas a variações climáticas e, por vezes, a atividades tectônicas.

Palavras-chave: Formação Morro do Chaves; Bacia de Sergipe-Alagoas; Folhelhos; Microfacies

Abstract

PASTANA MARTINS, Lorena. **Characterization of microfacies in shales associated to the coquinas of the Morro do Chaves Formation (Jiquiá), Sergipe-Alagoas Basin.** 2017. xv, 104 f. Trabalho Final de Curso (Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Shales are fissile microclastic rocks that may happen as source rocks, reservoirs or seals in a petroleum system. The Morro do Chaves Formation, age Jiquiá (Barremian/Aptian) from Sergipe-Alagoas Basin, is formed of shales and sandstones interbedded in a coquina succession deposited in a lacustrine paleoenvironment, outcropping in CIMPOR quarry, former Atol quarry, in São Miguel dos Campos (AL). This outcrop is considered an important analogue of carbonate reservoirs from the Pre-salt interval on Campos and Santos basins; however, most of the present shale studies are approaching only paleontologic and geochemistry aspects. Thus, this study aims the microfaciologic characterization of those shales present on this coquina stratigraphic section, with the objective of enrich the environmental interpretation proposed in the literature. The study material consists of a continuous 150 meters core (2-SMC-01-AL well). The shales were described macroscopically in a detail scale (1:10) and 25 thin sections were analysed to characterize the microfacies (composition, texture and microstructures), supported by XDR analyses, organic chemical analyses (TOC) and well logs (Gamma Ray and Caliper). Nine microfacies were characterized, eight siliciclastic, formed by claystones, siltstones and sandstones, composed basically of quartz, muscovite, feldspar and clay minerals from caulinite group, chlorite and illite, and calcite (from ostracode shells); and one carbonatic. The interpretation of those microfacies lead to high and low lake context, alternating oxidant and reductant conditions, that are associated with climate variations or, some times, to tectonic activities.

Key-Words: Morro do Chaves Formation; Sergipe-Alagoas Basin; Shales; Microfacies

Lista de figuras

Figura 1 - Mapa de localização do poço 2-SMC-01-AL na cava da antiga Pedreira Atol. Modificado do Google Earth.	3
Figura 2 - Carta de Munsell (A), esteromicroscópio (B), e folha de descrição de testemunho utilizados para descrição macroscópica em laboratório (C).	4
Figura 3 - Microscópio <i>Zeiss Axio Imager A2m</i> utilizado na descrição petrográfica.....	5
Figura 4 - Perfil litológico do testemunho descrito do poço 2-SMC-01-AL. Em (A), perfil de detalhe (escala 1:10) dos intervalos microclásticos, foco deste estudo.....	6
Figura 5 - (A) Moagem e pesagem das amostras, (B) peneiramento e retirada da fração areia e (C) separação da fração silte e argila por agitação e decantação em pipetas.	8
Figura 6 - Mapa de localização da Bacia de Sergipe-Alagoas e suas sub-bacias (Souza-Lima <i>et al.</i> , 2002).	193
Figura 7 - Arcabouço estrutural da Bacia de Sergipe-Alagoas (Lana, 1990).	15
Figura 8 - Diagrama estratigráfico da sub-bacia de Sergipe (Neto <i>et al.</i> , 2007).	19
Figura 9 - Diagrama estratigráfico da sub-bacia de Alagoas (Neto <i>et al.</i> , 2007).	230
Figura 10 - Poço 1-RJ-1-AL perfurado próximo à mina da empresa CIMPOR (antiga Pedreira Atol), mostrando as intercalações e variações de proporção de coquinas, arenitos e folhelhos ao longo da evolução da bacia (Azambuja <i>et al.</i> , 1998)	242
Figura 11 - Seções sísmicas realizadas nas vizinhanças da mina CIMPOR.	273
Figura 12 - Modelo proposto por Teixeira (2012) que representa o lago no estágio rifte	284
Figura 13 - Estruturas do tipo chama (flame) ao lado de injectito, indicando que havia água na camada de folhelho (foto Renato Ramos) (Teixeira, 2012).	27
Figura 14 - Padrão ortogonal de gretas. Observe a presença de dois trends principais, diagonal em direções opostas (Teixeira, 2012).	28
Figura 15 - Valores de COT (%), Enxofre Total (%) e Resíduo Insolúvel (%) versus profundidade das amostras analisadas.	97
Figura 16 - Teores de Enxofre Total (%) versus COT (%) das amostras analisadas (Leventhal, 1995), de acordo com as microfácies definidas neste trabalho	88
Figura 17 - Correlação entre os gráficos de COT x S x RI, definindo três intervalos de mudanças nas condições paleoambientais.	97

Lista de quadros

Quadro 1 – Tabela índice das lâminas confeccionadas, indicadas na Figura 4.....	5
Quadro 2 - Fácies sedimentares siliciclásticas da Formação Morro do Chaves, reconhecidas na região da antiga Pedreira Atol (Teixeira, 2012).	7
Quadro 3 - Fácies sedimentares siliciclásticas encontradas no perfil estudado comparado às definidas por Teixeira (2012).	30
Quadro 4 - Quadro síntese das microfácies propostas nesse trabalho.....	36
Quadro 5 - Quadro comparativo entre as fácies definidas por Teixeira (2012), as fácies encontradas e adicionais e as microfácies propostas neste trabalho.	37

Lista de estampas

ESTAMPA I	32
<p>Figura A – Caixa 07 do testemunho descrito, contendo intervalos argilosos intercalados aos arenitos da fácies Agi. Notar a mudança de coloração a partir da profundidade 18,50 m. Seta vermelha indica o topo e seta azul indica a base da camada.</p> <p>Figura B – Foto de detalhe da fácies Agi, em intervalo de aproximadamente 20,17 m. Arenito médio a grosso, moderadamente selecionado, apresentando gradação inversa. Seta azul indica o topo da amostra e caneta azul indica o local de laminação.</p>	
ESTAMPA II.....	34
<p>Figura A - Caixa 11 do testemunho descrito, exibindo intervalos argilosos intercalados aos siltitos da fácies Slc e calcários. Seta vermelha indica o topo e seta azul indica a base da camada.</p> <p>Figura B – Foto de detalhe da fácies Slc, na profundidade aproximada de 32,85 m. Siltito argiloso de cor verde, apresentando laminação cruzada por onda. Pode-se observar fratura preenchida por calcita e injectito preenchido por areia fina a média.</p>	
ESTAMPA III	39
<p>Figura A - Caixa 09 do testemunho descrito, mostrando alternância de intervalos argilosos escuros e esverdeados. Seta vermelha indica o topo e seta azul indica a base da camada.</p> <p>Figura B – Foto de detalhe em um intervalo em aproximadamente 25,30 m de profundidade. Seta azul indica o topo da amostra. Observar as laminações falhadas do argilito, característico da MF 1 (Argilito verde laminado).</p>	
ESTAMPA IV	41
<p>Figura A – Fotomicrografia da MF 1. Lâmina de profundidade 38,15 m (N//, 2.5x). Observar a laminação plano-paralela dada por níveis ricos em silte/areia muito fina e níveis argilosos.</p> <p>Figura B – Fotomicrografia da MF 1. Lâmina de profundidade 48,48 m (N//, 5x). Observar microfalha deslocando a laminação (seta vermelha).</p> <p>Figura C – Fotomicrografia da MF 1. Lâmina de profundidade 38,15 m (N//, 2.5x). Observar concreção de pirita deslocando as laminações ao centro.</p> <p>Figura D – Fotomicrografia da MF 1. Lâmina de profundidade 48,48 m (N//, 2.5x). Observar microfalha deslocando as laminações ao centro.</p>	
ESTAMPA V.....	45
<p>Figura A – Caixa 14 do testemunho descrito, mostrando intervalo de argilito maciço. Seta vermelha indica o topo e seta azul indica a base da camada.</p> <p>Figura B – Foto de detalhe em um intervalo de aproximadamente 41,30 m de profundidade. Observar a estrutura maciça do argilito, caracterizada pela MF 2 (Argilito verde maciço). Notar a coloração esverdeada da amostra. Observar também a presença de concreção carbonática com pirita.</p>	
ESTAMPA VI	47
<p>Figura A – Fotomicrografia da MF 2. Lâmina de profundidade 34,50 m (N//, 2.5x). Observar a estrutura maciça e fragmento fosfático ao centro.</p> <p>Figura B – Fotomicrografia da MF 2. Lâmina de profundidade 34,50 m (N//, 10x). Observar a microtrama caótica.</p> <p>Figura C – Fotomicrografia da MF 2. Lâmina de profundidade 35,30 m (N//, 5x). Observar estrutura maciça do argilito.</p>	

Figura D – Fotomicrografia da MF 2. Lâmina de profundidade 35,30 m (Nx, 2.5x) observar o mosqueamento, como indicado pelo tracejado amarelo.

ESTAMPA VII.....50

Figura A - Caixa número 13 do testemunho descrito, mostrando argilitos verdes intercalados com calcários e folhelho escuro. Seta vermelha indica o topo e seta azul indica a base da camada.

Figura B – Foto de detalhe do intervalo de aproximadamente 38,95 m de profundidade. Observar concreção carbonática no argilito da microfácies MF 2, no qual esta ocorre associada. Notar os poros sujos de óleo.

ESTAMPA VIII.....52

Figura A – Fotomicrografia da MF 3. Lâmina de profundidade 38,95 m (N//, 2.5x). Observar porosidade móldica e vugular.

Figura B – Fotomicrografia da MF 3. Lâmina de profundidade 38,95 m (N//, 10x). Observar ostracode articulado recristalizado.

Figura C – Fotomicrografia da MF 3. Lâmina de profundidade 27,10 m (N//, 2.5x). Observar laminação.

Figura D – Fotomicrografia da MF 3. Lâmina de profundidade 38,95 m (N//, 5x). Observar quantidade de grãos de quartzo e valvas de ostracodes. Notar porosidade vugular.

ESTAMPA IX.....56

Figura A – Caixa número 15 do testemunho descrito, mostrando intervalos carbonáticos e arenosos e folhelhos escuros. Seta vermelha indica o topo e seta azul indica a base da camada.

Figura B – Foto de detalhe em um intervalo em aproximadamente 43,50 m de profundidade. Observar a fissilidade da amostra. Notar a cor escura devido à alta concentração de matéria orgânica.

ESTAMPA X.....58

Figura A – Fotomicrografia da MF 4. Lâmina de profundidade 43,50 m (N//, 5x). Observar laminação plano-paralela marcada pela matéria orgânica.

Figura B – Fotomicrografia da MF 4. Lâmina de profundidade 53,83 m (N//, 5x). Observar concreção de pirita ao centro. Notar também a presença de ostracodes desarticulados (setas amarelas) e pirita framboidal (seta branca)

Figura C – Fotomicrografia da MF 4. Lâmina de profundidade 35,83 m (N//, 2.5x). Observar laminação plano-paralela marcada pela matéria orgânica.

Figura D – Fotomicrografia da MF 4. Lâmina de profundidade 150,90 m (N//, 2,5x). Observar fragmentos de peixe (fosfático).

ESTAMPA XI.....61

Figura A – Caixa número 45 do testemunho descrito, mostrando sequência de coquinas com intervalo argiloso. Seta vermelha indica o topo e seta azul indica a base da camada.

Figura B – Foto de detalhe em um intervalo em aproximadamente 134,17 m de profundidade. Observar a estrutura maciça do siltito, característico desta microfácies. Notar o contato abrupto entre as microfácies MF 5 e MF 7, indicado pelo tracejado amarelo. Notar também a presença de nódulos carbonáticos na microfácies MF 7 (setas brancas).

ESTAMPA XII.....63

Figura A – Fotomicrografia da MF 5. Lâmina de profundidade 134.17 m (N//, 1.25x). Observar estrutura maciça do siltito.

Figura B – Fotomicrografia da MF 5. Lâmina de profundidade 134.17 m (N//, 2.5x). Observar o contato (tracejado amarelo) entre as microfácies MF 5 e MF 7. Notar a diferença composicional dos argilominerais. Acima, mais avermelhado; abaixo, mais amarronzado.

Figura C – Fotomicrografia da MF 5. Lâmina de profundidade 134.17 m (Nx, 10x). Observar bioclasto recristalizado fragmentado ao centro. Notar fraturas não preenchidas.

Figura D – Fotomicrografia da MF 5. Lâmina de profundidade 134.17 m (N//, 5x). Observar intraclasto de carbonato com ostracode articulado com possível estrutura geopetal.

ESTAMPA XIII.....67

Figura A – Caixa de número 24 descrita no testemunho, mostrando intervalos de coquinas com aspecto sujo (óleo) e siltito esverdeado. Seta vermelha indica o topo e seta azul indica a base da camada.

Figura B – Foto de detalhe em intervalo de aproximadamente 70,95 m de profundidade. Observar a laminação plano-paralela levemente inclinada dada pelos níveis ricos em ostracodes, característica desta microfácies.

ESTAMPA XIV69

Figura A – Caixa de número 24 descrito no testemunho. Seta vermelha indica o topo e seta azul indica a base da camada.

Figura B – Foto de detalhe em intervalo de aproximadamente 70,75 m de profundidade. Caneta azul marca a amostra para laminação. Foto do topo da amostra (C), mostrando greta de diástase, anteriormente descrita por TEIXEIRA (2012). Notar o padrão ortogonal.

Figura C – Foto de detalhe, no mesmo intervalo, de injectito preenchido por areia fina a média (tracejado amarelo). Observar a presença de concreção carbonática (tracejado vermelho) ao redor do injectito.

ESTAMPA XV71

Figura A – Fotomicrografia da MF 6. Lâmina de profundidade 70,95 m (N//, 2.5x). Observar laminação plano-paralela (levemente inclinada) e presença de estilolito (seta amarela) na lâmina rica em ostracodes. Notar também a presença de ostracodes articulados, recristalizados (N//, 2.5x).

Figura B – Fotomicrografia da MF 6. Lâmina de profundidade 70,95 m (Nx, 5x). Observar ostracodes compactados e cimentados por calcita espática.

Figura C – Fotomicrografia da MF 6. Lâmina de profundidade 70,75 m (N//, 1.25x). Observar injectito ao centro, preenchido por areia fina à grossa, com cimentação de calcita espática ao redor. Notar conteúdo argiloso indicado pela seta amarela.

Figura D – Fotomicrografia da MF 6. Lâmina de profundidade 70,75 m (N//, 5x). Observar lama residual ao centro, anterior à cimentação ocorrida.

Figura E – Fotomicrografia da MF 6. Lâmina de profundidade 99,75 m (Nx, 5x). Observar lâminas onduladas de ostracodes desarticulados e compactados.

Figura F – Fotomicrografia da MF 6. Lâmina de profundidade 99,75 m (N//, 2.5x). Observar cisalhamento ao centro da lâmina. Notar laminações deformadas à direita da falha.

ESTAMPA XVI75

Figura A – Caixa de número 35 descrito no testemunho, mostrando coquinas com intervalo centimétrico de siltito esverdeado. Seta vermelha indica o topo e seta azul indica a base da camada.

Figura B – Foto de detalhe em intervalo de aproximadamente 105,67 m de profundidade. Observar falha normal na lente de silte/areia muito fina, comum nesta microfácies.

ESTAMPA XVII.....	77
Figura A – Fotomicrografia da MF 7. Lâmina de profundidade 46,30 m (N//, 1.25x0. Observar gradação normal. Notar a presença de concreções piritosas.	
Figura B – Fotomicrografia da MF 7. Lâmina de profundidade 105,67 m (N//, 5x). Observar microfalha indicada pela seta amarela.	
Figura C – Fotomicrografia da MF 7. Lâmina de profundidade 105,67 m (N//, 2.5x). Observar a base erosiva da lente de areia muito fina e fragmentos fosfáticos parcialmente dissolvidos.	
Figura D – Fotomicrografia da MF 7. Lâmina de profundidade 87,85 m (N//, 5x). Observar a estrutura maciça da microfácies, piratas framboidais e microtrama orientada a variável evidenciada pelas micas.	
ESTAMPA XVIII.....	80
Figura A – Caixa de número 13 descrito no testemunho, mostrando intervalos de argilitos esverdeados, intercalados com siltito e calcário, e folhelhos escuros. Seta vermelha indica o topo e seta azul indica a base da camada.	
Figura B – Foto de detalhe em intervalo de aproximadamente 37,85 m de profundidade. Siltito bioturbado com intraclastos de argila, mal selecionado, apresentando gradação normal.	
ESTAMPA XIX	82
Figura A – Fotomicrografia da MF 8. Lâmina de profundidade 37,85 m (N//, 1.25x). Observar tubo de bioturbação preenchido por material mais grosso e pirita.	
Figura B – Fotomicrografia da MF 8. Lâmina de profundidade 37,85 m (N//, 2.5x). Observar intraclastos de argila alongados em um eixo principal.	
Figura C – Fotomicrografia da MF 8. Lâmina de profundidade 37,85 m (N//, 20x). Notar a piritização da valva de ostracode.	
Figura D – Fotomicrografia da MF 8. Lâmina de profundidade 37,85 m (N//, 2.5x). Observar intraclastos de argila esmagados e nódulo fosfático. Notar a grande quantidade de pirita.	
ESTAMPA XX.....	85
Figura A – Fotomicrografia da MF 9. Lâmina de profundidade 20,17 m (N//, 1.25x). Observar gradação inversa de silte/areia muito fina a areia grossa.	
Figura B – Fotomicrografia da MF 9. Lâmina de profundidade 20,17m (Nx, 2.5x). Observar grãos de quartzo monocristalino, por vezes com extinção ondulada, e feldspatos. Notar grãos subangulosos a subarredondados.	
Figura C – Fotomicrografia da MF 9. Lâmina de profundidade 20,17m (N//, 1.25x). Observar valvas de ostracodes na matriz e cimentação espática.	
Figura D – Fotomicrografia da MF 9. Lâmina de profundidade 20,17m (Nx, 2.5x). Observar litoclasto de rocha vulcânica no canto esquerdo. Notar a textura mal selecionado do arenito.	
ESTAMPA XXI	91
Figura 14 – Análise integrada de perfis geofísicos de poço e geoquímico orgânico, correlacionando com perfil litológico dos testemunhos contínuos estudados. Intervalos siliciclásticos em escala 1:150 (A) e perfil de microfácies (B).	

Sumário

Agradecimentos	v
Resumo	vii
Abstract	viii
Lista de Figuras.....	ix
Lista de Quadros.....	x

Lista de Estampas.....	xi
1 INTRODUÇÃO	1
2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	3
2.1 Testemunho de sondagem.....	3
2.2 Descrição macroscópica e petrográfica.....	3
2.3 Caracterização de fácies e microfácies sedimentares	6
2.4 Análise de Difração de raios-X (DRX)	8
2.5 Análise de Carbono Orgânico Total (COT) e Enxofre Total (S).....	9
2.6 PERFIS GEOFÍSICOS DE POÇO.....	11
2.6.1 <i>Caliper</i>	11
2.6.2 Raios-Gama (GR)	12
3 CONTEXTO GEOLÓGICO.....	12
3.1 Bacia de Sergipe-Alagoas	12
3.2 Arcabouço estrutural e evolução tectônica.....	14
3.3 ESTRATIGRAFIA	15
3.3.1 Formação Morro do Chaves.....	21
3.3.1.1 Folhelhos.....	25
3.3.1.2 Paleontologia e geoquímica	28
4 RESULTADOS	30
4.1 Fácies sedimentares	30
4.2 MICROFÁCIES SEDIMENTARES	36
4.2.1 Microfácies MF 1 – Argilito verde laminado.....	37
4.2.2 Microfácies MF 2 – Argilito verde maciço	43
4.2.3 Microfácies MF 3 – Calcário microcristalino	49
4.2.4 Microfácies MF 4 – Folhelho preto laminado.....	54
4.2.5 Microfácies MF 5 – Siltito preto maciço	60
4.2.6 Microfácies MF 6 – Siltito verde laminado rico em ostracodes.....	65
4.2.7 Microfácies MF 7 – Siltito verde maciço	73
4.2.8 Microfácies MF 8 – Siltito bioturbado com intraclastos de argila	79
4.2.9 Microfácies MF 9 – Arenito com gradação inversa.....	84
4.3 Carbono Orgânico Total (COT) e Enxofre Total (S)	87
4.4 Análise integrada de perfis geofísicos de poço e dados geoquímicos	89
5 DISCUSSÃO	93
6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	96
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	101
Apêndice A – Tabela de amostras coletadas para análises	1
Apêndice B – Análises de DRX	2

1 INTRODUÇÃO

Folhelhos são rochas microclásticas físseis e compõem 70% do registro sedimentar (Potter *et al.*, 2005). Em sistemas petrolíferos convencionais, podem exercer diferentes funções, como geradores de hidrocarbonetos, selantes e até interferir na qualidade dos reservatórios de petróleo, devido à sua baixa permeabilidade, agindo como defletores ou barreiras de fluxo. Em sistemas petrolíferos não convencionais, têm ganhado cada vez mais notoriedade graças a crescentes descobertas de gás e óleo associados à microporosidade e fraturas presentes nesta litologia (e.g. *shale gas/shale oil*). São fundamentais na interpretação do modelo deposicional de uma bacia sedimentar, por permitir a preservação de conteúdo paleontológico e orgânico, oferecendo importantes informações sobre as condições paleoambientais como temperatura, salinidade, umidade e anoxia.

Com importantes descobertas no intervalo Pré-sal da bacia Santos, o estudo de análogos aos intervalos produtores, como a Formação Morro do Chaves, têm ganhado posição de destaque na busca do entendimento dos processos atuantes na deposição da sequência de coquinas, já que estas são consideradas potenciais reservatórios no intervalo do Barremiano superior ao Aptiano inferior da seção Rifte da Bacia de Sergipe-Alagoas (Teixeira, 2012). Com isso, os folhelhos associados à estas rochas carbonáticas tem exigido um crescente número de estudos para a melhor compreensão dos sistemas deposicionais dessa seção.

Diversos autores têm dado diferentes interpretações aos folhelhos associados às coquinas da Formação Morro do Chaves. Alguns deles descrevem-os como margas ou folhelhos ricos em carbonatos (Figueiredo, 1981). Tavares (2014) interpreta-os como folhelhos em contexto de lago profundo, apresentando estruturas como gretas de diástase (Teixeira, 2012), contrapondo Azambuja *et al.* (1998), que afirma que estes são depositados em contexto de lago baixo, apresentando estruturas indicativas de exposição subaérea.

Contudo, os presentes estudos relacionados aos folhelhos têm abordado apenas aspectos paleontológicos e geoquímicos orgânicos.

Com isso, o presente estudo objetiva a caracterização microfaciológica dos intervalos microclásticos (folhelhos), a fim de contribuir ao entendimento do contexto paleoambiental proposto atualmente na literatura. Para tal, foi utilizada a técnica de análise petrográfica a partir de amostras coletadas de um testemunho contínuo de aproximadamente 150 metros. Além disso, foram realizadas análises de Difração de Raios-X (DRX), perfilagem geofísica de poço (perfis de Raios-gama e *Caliper*) e análise geoquímica de Carbono Orgânico Total (COT) e Enxofre Total (S), para auxiliar nas interpretações paleoambientais.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Testemunho de sondagem

O material de estudo consta de um testemunho de sondagem contínuo obtido com a perfuração do poço 2-SMC-01-AL (WGS 9° 45' 37.76''S / 36° 9' 10.77''O), realizada à leste da cava de uma mina de calcário, no município de São Miguel dos Campos, Alagoas (WGS 84 09°45'17''S / 36°09'14''W), 5 km a oeste da BR-101 no Estado de Alagoas (Figura 1). A mina é a antiga Pedreira Atol, que hoje é administrada pela Companhia de Cimentos de Portugal (CIMPOR). O testemunho estudado representa um intervalo da Formação Morro do Chaves, apresentando uma sucessão de coquinas que se intercalam com arenitos e argilitos/siltitos. A perfuração atingiu aproximadamente 150 metros de profundidade.

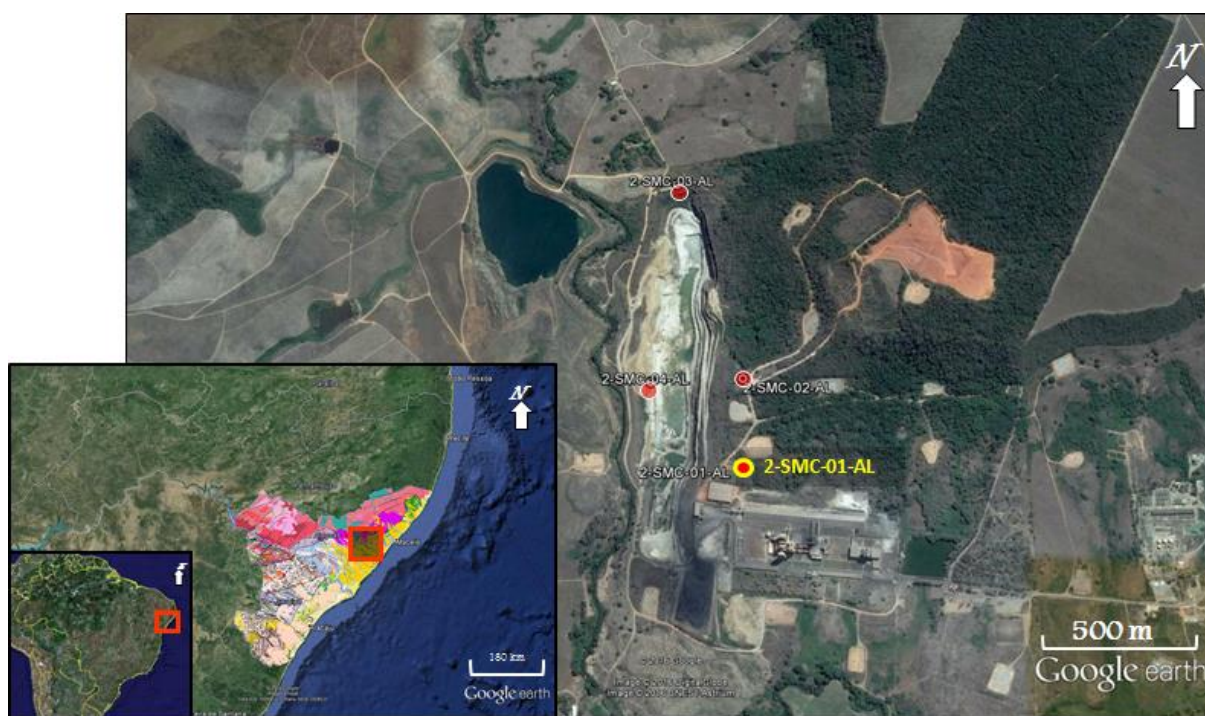


Figura 1 - Mapa de localização do poço 2-SMC-01-AL na cava da antiga Pedreira Atol. Modificado do Google Earth. Pontos vermelhos representam a localização de outros poços perfurados para o Projeto SACL.

2.2 Descrição macroscópica e petrográfica

Objetivando um estudo de detalhe dos folhelhos, elaborou-se um perfil sedimentológico em escala 1:10 dos intervalos de interesse, que representam cerca de 34% dos testemunhos de sondagem. Este perfil foi utilizado juntamente ao previamente elaborado por geólogos do Projeto SACL (IGEO 15.891), cujo foco foi o detalhamento das coquinas, em escala 1:40 (Figura 4). Utilizou-se o auxílio de esteromicroscópio (*Zeiss Stemi 2000*) para serem observadas feições sedimentares em macro- e mesoescala: (1) litologia; (2) mineralogia; (3) textura; (4) estruturas sedimentares; (5) cor, de acordo com a Carta de Munsell (2012); (6) conteúdo fóssilífero; (7) presença de carbonato (efervescência ao HCl) (Figura 2).

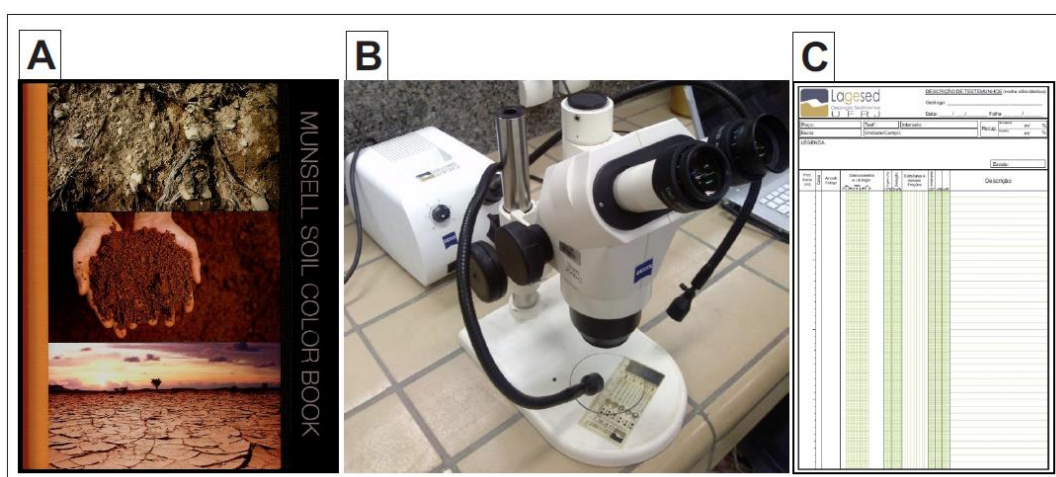


Figura 2 - Carta de Munsell (A), esteromicroscópio (B), e folha de descrição de testemunho utilizados para descrição macroscópica em laboratório (C).

Após a descrição macroscópica, foram selecionadas 25 amostras para confecção de 25 lâminas delgadas (Quadro 1), escolhidas a partir da seleção de uma amostra por intervalo descrito. Estas amostras foram impregnadas com Resina *epoxy*-azul, a fim de destacar os poros das rochas e, posteriormente, encaminhadas para preparação tradicional de lâminas delgadas, para serem observadas através do microscópio *Zeiss Axio Imager A2m* (Figura 3).



Figura 3 - Microscópio *Zeiss Axio Imager A2m* utilizado na descrição petrográfica. Setas brancas indicam a câmera *Zeiss AxioCam* utilizada para fotomicrografia.

Quadro 1 – Tabela índice das lâminas confeccionadas, indicadas na Figura 4.

AMOSTRA	PROFUNDIDADE	LITOLOGIA
1	19,38	Argilito
2	20,17	Arenito
3	23,16	Argilito
4	25,3	Argilito
5	28,93	Calcário
6	34,5	Argilito
7	35,3	Argilito
8	35,83	Argilito
9	37,85	Siltito
10	38,15	Argilito
11	38,95	Calcário
12	43,5	Argilito
13	46,3	Siltito
14	48,48	Argilito
15	53,83	Siltito
16	70,75	Siltito
17	70,95	Siltito
18	87,85	Siltito
19	99,65	Siltito
20	105,67	Siltito
21	134,1	Siltito
22	134,17	Siltito
23	134,35	Argilito
24	150,7	Siltito
25	150,9	Argilito

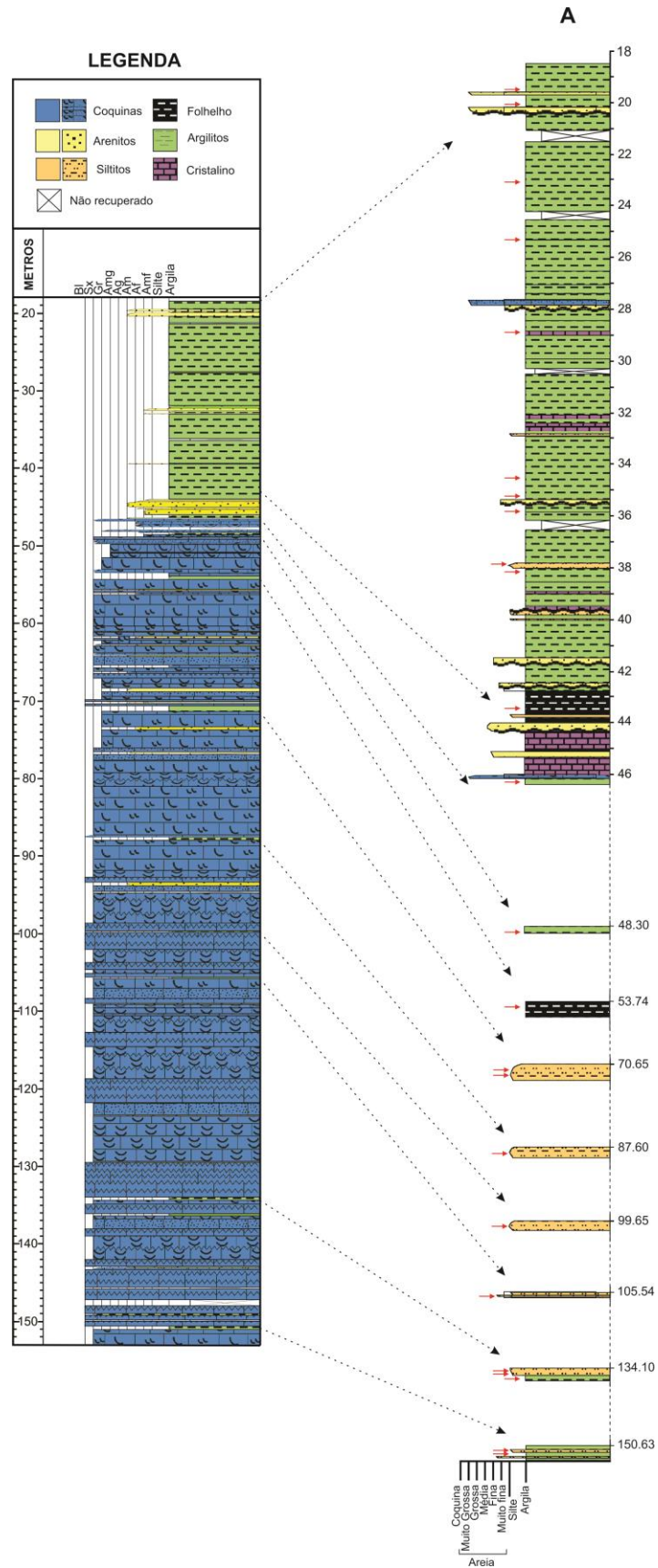


Figura 4 - Perfil litológico do testemunho descrito do poço 2-SMC-01-AL. Em (A), perfil de detalhe (escala 1:150) dos intervalos microclásticos, foco deste estudo. Setas vermelhas indicam posição das amostras laminadas.

2.3 Caracterização de fácies e microfácies sedimentares

Este trabalho utiliza as fácies sedimentares definidas por Teixeira (2012) (Quadro 1) e oferece um melhor detalhamento através da descrição petrográfica e caracterização de microfácies sedimentares. Teixeira (2012) utiliza o conceito de Borghi (2000), que define fácies como uma *“massa de sedimento ou de rocha sedimentar caracterizada e distinguida das demais pela litologia, geometria estratal, estruturas sedimentares, petrotrama, cores, fósseis e por atributos direcionais”*. As fácies descritas neste trabalho foram utilizadas para definir os pontos de amostragem para realizar a confecção de lâminas petrográficas.

Quadro 2 - Fácies sedimentares siliciclásticas da Formação Morro do Chaves, reconhecidas na região da antiga Pedreira Atol (Teixeira, 2012).

Rochas siliciclásticas	DESIGNAÇÃO	DIAGNOSE
	Fv	Siltito argilosos de cor verde, apresentando laminação plano-paralela e contendo níveis de ostracodito
	Fp	Argilito siltoso de cor preta, apresentando laminação plano-paralela e contendo níveis de ostracodito
	Lb	Siltito argiloso de cor cinza, apresentando bioturbação
	Ax	Arenito médio a grosso, moderadamente selecionado, apresentando estratificação cruzada de porte médio e contendo areia bioclástica e conchas fragmentadas
	Am	Arenito médio a grosso, mal selecionado, apresentando estrutura maciça
	Cg	Conglomerado clasto-suportado, apresentando gradação normal e contendo intraclastos de lamito, areia bioclástica e conchas fragmentadas

Neste estudo, para a caracterização de microfácies de rochas siliciclásticas microclásticas, foi utilizado o conceito proposto por Carelli (2010), que define microfácies como uma *“massa de sedimento ou rocha sedimentar caracterizada e distinguida das demais por atributos como mineralogia, microtextura, microtrama, microestruturas físicas e/ou biogênicas, microfósseis e conteúdo orgânico particulado observado através de técnicas de microscopia, somados a atributos como cor, fissilidade e variação estratal observados em*

escala megascópica”. Observou-se principalmente a microtextura e microtrama das rochas, mais especificamente as microestruturas, cor, mineralogia e conteúdo orgânico. A microtextura foi determinada visualmente em lâmina petrográfica.

2.4 Análise de Difração de raios-X (DRX)

As análises de DRX foram executadas na fração argila de 21 amostras (Apêndice A) para determinação da mineralogia dos argilominerais encontrados. Tal fração foi obtida através dos seguintes processos: (1) moagem e pesagem dos folhelhos; (2) peneiramento e retirada da fração areia; (3) separação da fração silte e argila por agitação e decantação em pipetas seguindo a lei de Stokes (Figura 5). As análises foram realizadas em equipamento *Bruker-AXS D8 Advance ECO* e os difratogramas gerados foram interpretados no CETEM (Centro de Tecnologia Mineral) com o apoio do Dr. Reiner Neumann.

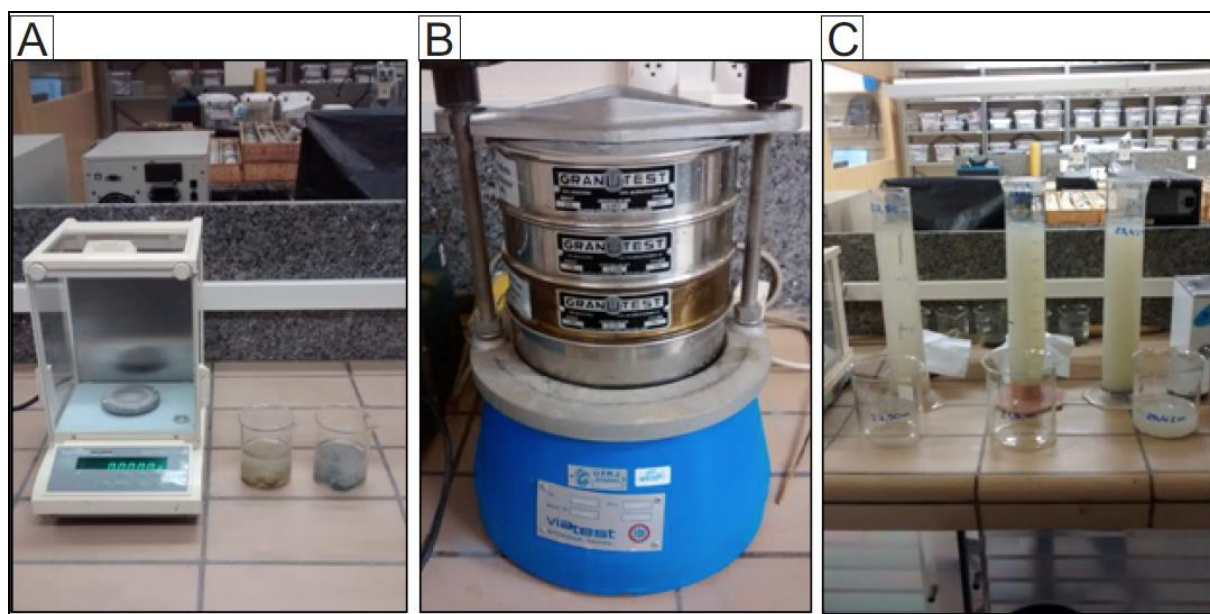


Figura 5 - (A) Moagem e pesagem das amostras, (B) peneiramento e retirada da fração areia e (C) separação da fração silte e argila por agitação e decantação em pipetas.

2.5 Análise de Carbono Orgânico Total (COT) e Enxofre Total (S)

A análise de carbono orgânico total (COT) tem como objetivo quantificar o teor de carbono orgânico presente em uma determinada rocha, possibilitando o reconhecimento de horizontes ricos em matéria orgânica, como intervalos geradores de hidrocarbonetos ou superfícies estratigráficas (Superfície de Inundação Máxima).

Para a análise foram coletadas 33 amostras de folhelhos pertencentes à Formação Morro do Chaves (Apêndice A), e os procedimentos para sua quantificação foram feitos pelo Laboratório de Estratigrafia Química e Geoquímica Orgânica da UERJ. Dessas amostras, pesou-se cerca de 0,250g, em barquinhas de cerâmica porosa (filtrante). Após a pesagem, as amostras foram levadas à capela e acidificadas com ácido clorídrico a 50%, a fim de se eliminar os carbonatos presentes nas amostras. Os carbonatos constituem a parte inorgânica da amostra, dessa forma a não eliminação dos mesmos produz um falso resultado, visto que o aparelho determinador de carbono (LECO) determina o teor de carbono total da amostra, ou seja, tanto o carbono orgânico quanto o inorgânico formarão CO_2 durante a queima como produto de combustão durante a análise.

Após 24 horas, as amostras foram lavadas, a primeira vez com água destilada a quente (100°C), e mais três a quatro vezes (no mínimo) com água fria, a fim de eliminar os cloretos presentes nas amostras, devido à acidificação com HCl. Quando toda água remanescente da última lavagem escorrer por meio da porosidade das barquinhas, as mesmas são secas em um banho de luz em torno de 80°C . Após o procedimento anterior, as amostras foram pesadas novamente para saber a quantidade de material que foi eliminada após o ataque ácido, ou seja, os carbonatos. Obtido o peso final, pode-se calcular o resíduo insolúvel, que é o material resultante após a acidificação.

O Equipamento Determinador LECO SC-632 possui um analisador SC-632 de carbono e enxofre, que é um instrumento não-dispersivo, por infravermelho, de controle

digital, projetado para medir carbono e enxofre em conjunto com uma serie de variedades de materiais orgânicos como, carvão de terra (hulha), coque e óleo, bem como materiais inorgânicos como, terra, cimento e pedra de calcário.

A amostra pesada ($\pm 0,2500\text{g}$) em barquinha de cerâmica é introduzida no sistema de combustão. As amostras são queimadas em uma atmosfera de oxigênio a temperatura de 1.350°C . A combinação de temperatura do forno e fluxo de oxigênio leva a amostra à combustão. Todos os materiais contidos na amostra sofrerão na combustão um processo de oxirredução, que transformam o carbono e o enxofre em CO_2 e SO_2 .

Após um tempo predeterminado (20 segundos) o oxigênio é borrifado na amostra aquecida através de urna “lança” que acelera a combustão e a oxirredução para CO_2 e SO_2 . A partir deste ponto o carbono (como CO_2) e o enxofre (como SO_2) se desprendem como gases-amostra dentro do sistema de fluxo carreador, e liberados para o detector infravermelho.

Os gases (carbono e enxofre desprendidos) são arrastados através do porta-amostra para o injetor do tubo de combustão, fazendo com que os gases-amostra sejam retidos na zona de alta temperatura por um longo período e permita uma oxidação eficaz.

Do sistema de combustão, os gases passam por dois tubos de anidrônio que possuem a função de reter umidade, e através de um controlador de fluxo dos gases-amostra, e em seguida, para a célula do detector de infravermelho. A célula do detector de infravermelho de carbono mede a concentração de dióxido de carbono, e a célula do detector de infravermelho de enxofre mede a concentração de dióxido de enxofre. O instrumento converte estes valores para um valor em percentagem/ppm, usando uma equação presente no software, que relaciona o peso da amostra, a calibração e o valor.

Após todo o procedimento, gera-se uma tabela com os valores (%) de COT, Resíduo Insolúvel (RI) e Enxofre (S). As amostras de COT possuem uma variância de valores de 0,063 a 14,7%, enquanto os resultados de enxofre variam de 0,11 a 2,7%. Para os teores de

Enxofre Total nas rochas fornecerem informações valiosas, deve-se avaliar em conjunto com os dados de COT. Assim, seus valores ajudam na interpretação do ambiente deposicional em que a rocha foi formada.

2.6 PERFIS GEOFÍSICOS DE POÇO

Os métodos geofísicos são amplamente utilizados para identificar feições geológicas em subsuperfície. Na indústria petrolífera, o uso da perfilagem geofísica de poço é de fundamental importância, principalmente na avaliação de formações, devido à possibilidade de obter informações geológicas como litologia, espessura, porosidade, fluidos presentes nos poros, dentre outros parâmetros. Com o intuito de auxiliar nas correlações, foi utilizado neste trabalho dois tipos de perfis geofísicos de poço, o perfil de Raios Gama (GR) e o *Caliper*, que foram essenciais na correlação rocha x perfil, posicionando os intervalos argilosos nas profundidades corretas, além de permitir analisar em conjunto os dados de Carbono Orgânico Total (COT) para uma melhor interpretação paleoambiental. A digitalização e integração dos perfis foi realizada no Software PETREL, disponibilizado pela empresa Schlumberger.

2.6.1 *Caliper*

O perfil *Caliper* é um perfil mecânico amplamente utilizado para identificar problemas na estrutura física interna do poço. Ele é importante na detecção de desmoronamentos e rugosidade das paredes do poço, principalmente relacionados ao “inchamento” dos intervalos argilosos da formação após entrar em contato com o fluido de perfuração, o que pode auxiliar muito na identificação do tipo de argilomineral que compõe o intervalo, além de definir a confiabilidade das leituras dos demais perfis.

2.6.2 Raios Gama (GR)

Este tipo de perfil mede a radioatividade natural emitida pela rocha, resultante do decaimento espontâneo (ou desintegração) de um núcleo atômico instável que é acompanhado pela emissão de radiação, proporcionada, basicamente, pelos elementos Potássio (K^{40}), Urânio (U^{238}) e do Tório (Th^{232}) (Souza, 2009). Diferentes tipos de rocha emitem diferentes quantidades e espectros de radiação gama natural. Os folhelhos podem emitir mais radiação do que outras rochas sedimentares, devido a sua capacidade de preservar a matéria orgânica depositada junto com o sedimento. Folhelhos ricos em matéria orgânica apresentam altas radioatividades em função dos microorganismos concentrarem elementos radioativos (Urânio) em seus corpos, retirando-os da água.

Este perfil auxilia como indicador litológico e na identificação de intervalos mais radioativos e com diferentes potenciais de geração de hidrocarbonetos, além da correlação de camadas, permitindo a marcação do topo e base dos intervalos, podendo também ser utilizado para realizar o cálculo do volume percentual de argila (*Shale Volume*) dos reservatórios. A radioatividade medida é expressa em graus API (*American Petroleum Institute*).

3 CONTEXTO GEOLÓGICO

3.1 Bacia de Sergipe-Alagoas

A Bacia de Sergipe-Alagoas é uma bacia de margem continental brasileira que possui sua origem relacionada com a abertura do Oceano Atlântico Sul. Localiza-se na costa nordeste do Brasil entre as latitudes 9° S e 11° 30' S e longitudes 35° 30' O e 37° O (Lana, 1990).

Feijó (1994) divide a Bacia de Sergipe-Alagoas em duas bacias, Bacia Sergipe e Bacia Alagoas, separadas pelo alto de Japoatã-Penedo. Este autor defende que estas apresentam importantes diferenças estruturais e estratigráficas e define como limite norte o Alto de Maragogi, com a Bacia Pernambuco-Paraíba, e o limite sul, com a Bacia de Jacuípe, se dá no sistema de falhas Vaza Barris. Souza-Lima *et al.* (2002) sugere que a Bacia de Jacuípe seria uma sub-bacia de Sergipe-Alagoas, de forma que esta abrangeria as sub-bacias de Jacuípe, Sergipe e Alagoas, assim como a sub-bacia do Cabo, ao Sul do Estado de Pernambuco (Figura 6).

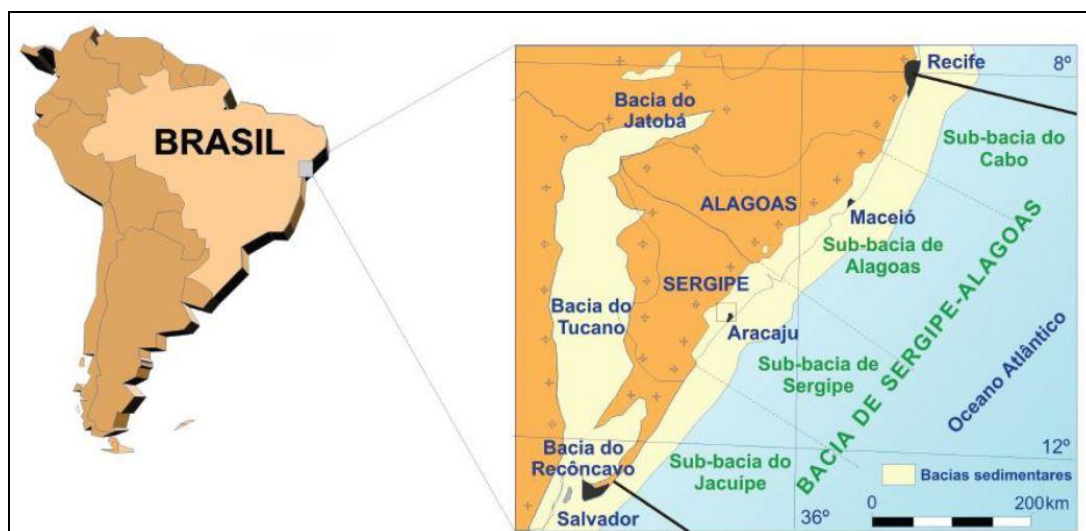


Figura 6 - Mapa de localização da Bacia de Sergipe-Alagoas e suas sub-bacias (Souza-Lima *et al.*, 2002).

De acordo com Neto *et al.* (2007), que consideram o limite à sudoeste com a Bacia de Jacuípe indiviso, a Bacia de Sergipe-Alagoas é uma única bacia sedimentar. Estes autores não caracterizam o Alto de Japoatã-Penedo como um divisor de bacias, já que está restrito apenas à parte emersa e de águas rasas, não se prolongando até o bloco baixo da charneira Eoalagoas.

Neste trabalho, será adotado a definição de Neto *et al.* (2007) para a Bacia de Sergipe-Alagoas, apesar da variação do preenchimento sedimentar e estilo tectônico entre as porções sergipanas e alagoanas – que resultam na elaboração de dois diagramas estratigráficos.

3.2 Arcabouço estrutural e evolução tectônica

A Bacia de Sergipe-Alagoas subdivide-se em compartimentos tectônicos, em geral limitados por grandes falhas de direções e rejeitos muito variados. Em seção, esta consiste de um hemigráben com mergulho para NO e predomínio de falhas sintéticas. Seu arcabouço estrutural é dado por um sistema de falhas N-S interceptado por sistemas de falhas sintéticas com relação às falhas antitéticas E-O e NE-SO (Lana, 1990), como indicado pela Figura 7.

A bacia foi implantada sobre a Província Borborema (Microplaca Sergipana), e, durante o Eocretáceo, sua movimentação foi independente daquela dos continentes africano e sulamericano. Ainda segundo Lana (1990), o início do rifteamento no Nordeste do Brasil ocorre devido a uma rotação anti-horária da África em relação à América do Sul, em torno de um pólo situado sobre o Lineamento de Pernambuco. Esse movimento rotacional é acompanhado por rotação de mesmo sentido, porém com menor velocidade, pela microplaca. Os principais depocentros durante o Eocretáceo foram gerados a partir desse cisalhamento sinistral, que, devido à transtensão no sul da microplaca, formou hemigrábens de orientação N-S em forma escalonada (*em échelon*), conectados por longas falhas transcorrentes de orientação NE-SO. Enquanto isso, no norte da microplaca havia um regime transpressional produzindo estruturas *pop-up* e soerguimento, com consequente erosão desta região durante o Neocomiano.

Após o início do Alagoas, o regime de esforços responsável pela implantação da bacia se modifica: ocorre o aumento da componente distensional e reativação de falhas transcorrentes NE-SO como falhas normais e linhas de charneira com mergulho para SE.

Feijó (1994) reconhece cinco sequências deposicionais na Bacia de Sergipe-Alagoas, baseado na presença de discordâncias e conformidades relativas: Sequência Permo-carbonífera (Sinéclise), Sequência juro-eocretácea (Estágio *pré-rift*), Sequências *Rift*, Sequência de Transição e Sequências da Margem Passiva (*drift*).

Neto *et al.* (2007) revisaram a estratigrafia da bacia e propuseram cinco supersequências (Paleozoica, Pré-rifte, Rifte, Pós-rifte e Drifte), semelhantes às sequências de Feijó (1994) (Figuras 8 e 9).

Supersequência Paleozoica – A supersequência foi depositada sobre embasamento pré-cambriano e representa os registros sedimentares de sinéclises paleozoicas que cobriam extensas áreas do continente Gondwana. No Carbonífero, ocorre a deposição dos conglomerados, arenitos e folhelhos da Formação Batinga, em ambiente glacial subaquoso, que são sotopostos de maneira discordante por folhelhos, arenitos e calcários da Formação Aracaré, em ambientes desértico, litorâneo e deltaico, durante o Permiano.

Supersequências Pré-Rifte – A supersequência foi depositada em depressões longas e rasas na bacia, em resposta ao soerguimento crustal. Nessa fase de estabilidade ocorreu a deposição de folhelhos vermelhos lacustres da Formação Bananeiras, concomitante à deposição dos arenitos flúvio-deltaicos da Formação Candeeiro. Posteriormente, sistemas fluviais entrelaçados depositam os arenitos da Formação Serraria, assoreando a bacia.

Supersequência Rifte – A supersequência corresponde ao estágio de subsidência mecânica da bacia, desde o estiramento inicial da crosta até os intensos falhamentos do rifteamento. O início do rifte ocorreu com o Andar Rio da Serra (aproximadamente 142 Ma), com a instalação do sistema lacustre-deltaico da Formação Feliz Deserto, representados por sucessão de folhelhos esverdeados com intercalações de arenitos. Durante os andares Aratu, Buracica e Jiquiá ocorre o primeiro pulso tectônico do rifte, com a tectônica rúptil sendo restringida à sub-bacia de Sergipe. Nesta, ocorria a deposição dos conglomerados aluviais da

Formação Rio Pitanga, dos arenitos da Formação Penedo e, nas porções mais distais, prevalecia a sedimentação deltaica-lacustre da Formação Barra de Itiúba. Já na sub-bacia de Alagoas, concomitantemente à deposição dos folhelhos e arenitos da Formação Barra de Itiúba, ocorre a sedimentação fluvial da Formação Penedo. O nível máximo desse lago ocorreu ao final da idade Buracica, com deposição de sedimentos finos (folhelhos), e, a partir da idade Eojiquiá, esse lago foi colmatado pelos sedimentos alúvio-fluviais das formações Rio Pitanga e Penedo. Durante os períodos de pouco aporte sedimentar, nas porções rasas da sub-bacia de Sergipe ocorria a deposição das coquinas e folhelhos da Formação Morro do Chaves.

O segundo pulso de rifteamento foi depositado entre o final do Jiquiá e início do Alagoas. Nesse tempo, o tectonismo aumentou de intensidade e se propagou por toda a bacia. Na parte proximal da sub-bacia de Sergipe, ocorriam as deposições dos conglomerados aluviais da Formação Rio Pitanga e das rochas carbonáticas coquinóides da Formação Morro do Chaves. Já nas porções distais, a sedimentação era deltaica-lacustre, com os arenitos e folhelhos da Formação Coqueiro Seco.

Na sub-bacia de Alagoas, este último prevalecia em relação aos conglomerados aluviais da Formação Poção e aos carbonatos e folhelhos lacustres da Formação Morro do Chaves. No final do segundo pulso tectônico do estágio rifte, no início do Alagoas, o tectonismo foi intenso e delineou-se a linha de charneira, que restringiu a sedimentação ao bloco baixo e ao nordeste de Alagoas. Neste momento, o registro sedimentar é composto por conglomerados aluviais das formações Rio Pitanga e Poção e de arenitos, folhelhos, evaporitos e calcilitos da Formação Maceió. A presença de evaporitos na sub-bacia alagoana sugere incursões marinhas.

Supersequência Pós-rifte – Com o início da subsidência térmica ao final do Alagoas, a bacia sofre basculamento para SE e permite a primeira grande incursão marinha. Nesse

momento, a sedimentação é retomada na porção emersa da sub-bacia de Sergipe, mas continuou restrita ao bloco baixo na sub-bacia de Alagoas. Nessa fase, a Formação Muribeca é composta por siliciclásticos de leques aluviais; evaporitos, carbonatos microbiais e folhelhos de *sabkhas* costeiros; e calcilutitos e folhelhos de mares rasos.

Supersequência Drifte – Depositada no estágio de subsidência térmica da bacia, é representada por uma sedimentação marinha restrita e, posteriormente, em mar aberto.

Ao final do Alagoas, a subida do nível do mar desfez as barreiras de restrição e, com isso, estabeleceu-se a sedimentação marinha da Formação Riachuelo. Do final do Cenomaniano ao Coniaciano ocorre um grande evento transgressivo, proporcionando a deposição dos sedimentos da rampa carbonática, composta por calcilutitos e folhelhos, da Formação Cotinguiba.

A partir do Santoniano até o Recente, registram-se os folhelhos da Formação Calumbi, seguido de um evento regressivo a partir do Campaniano, no qual depositam-se os arenitos plataformais da Formação Marituba e os calcarenitos bioclasticos da Formação Mosqueiro. Na porção emersa da bacia, uma pequena regressão no Plioceno possibilitou a deposição dos sedimentos costeiros da Formação Barreiras.

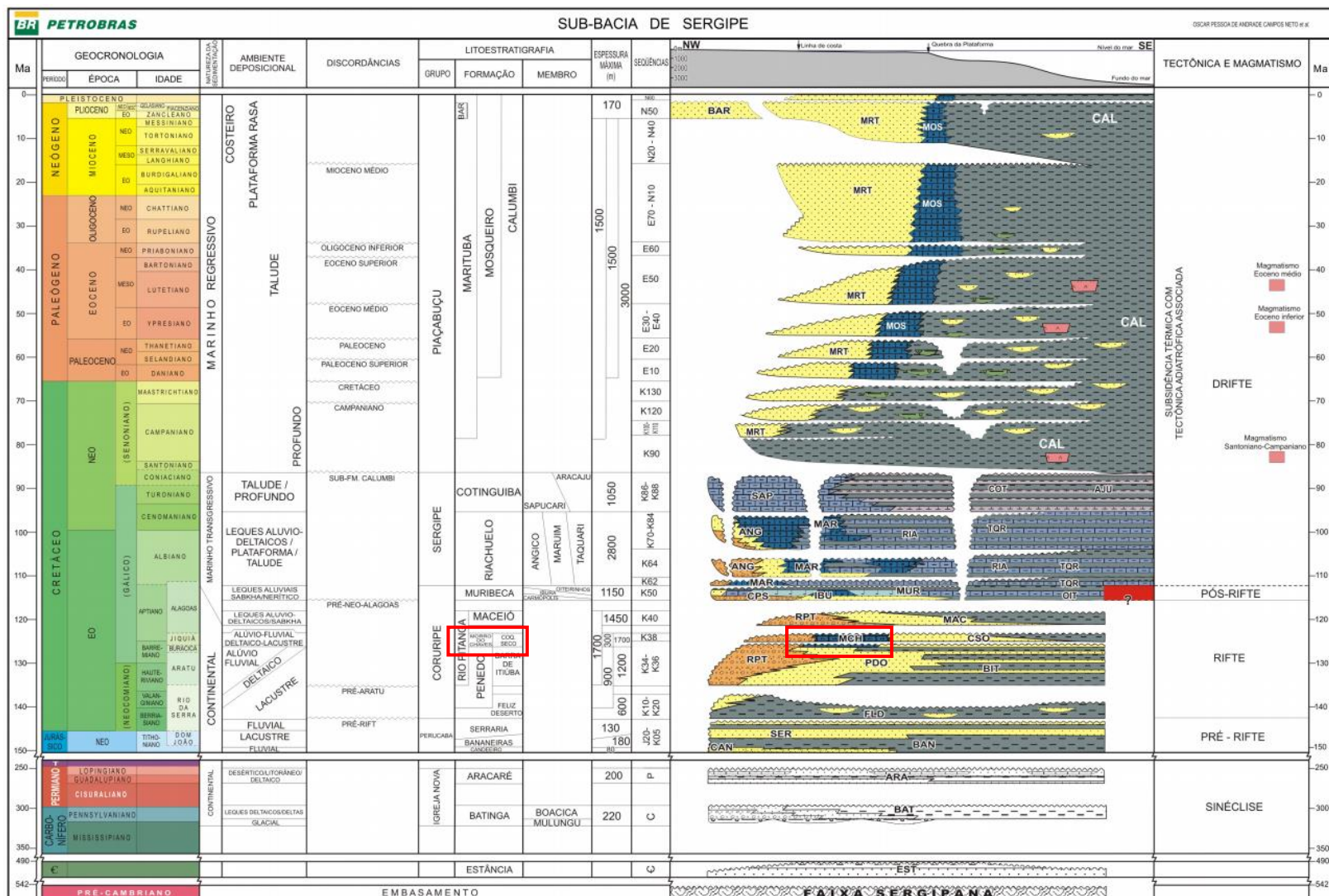


Figura 8 - Diagrama estratigráfico da sub-bacia de Sergipe. A Formação Morro do Chaves (retângulos vermelhos) está inserida no Grupo Coruripe e na Seção Rifte (Neto *et al.*, 2007).

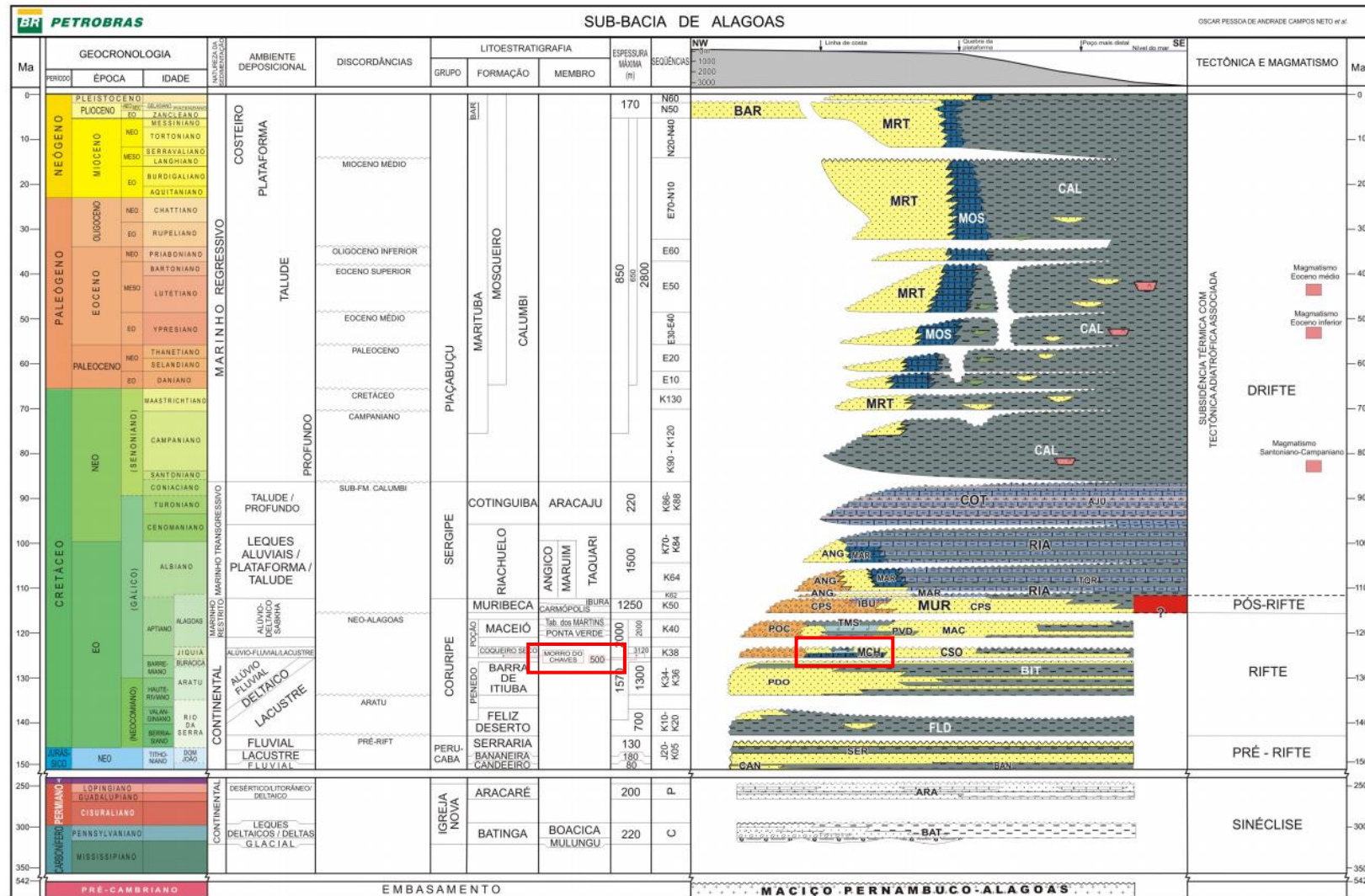


Figura 9 - Diagrama estratigráfico da sub-bacia de Alagoas. A Formação Morro do Chaves (retângulos vermelhos) está inserida no Grupo Coruipé da Seção Rifte (Neto *et al.*, 2007).

3.3.1 Formação Morro do Chaves

Schaller (1969) define a Formação Morro do Chaves como uma sequência de calcários, margas coquinóides e dolomitos com intercalações clásticas compostas por folhelhos calcíferos e silticos e arenitos finos a médios, geralmente calcíferos, com ocasionais níveis grossos à conglomeráticos, sobrepostos à Formação Penedo e subjacente à Formação Coqueiro Seco. Figueiredo (1981) interpreta os pacotes de coquinas da formação como o registro de antigas plataformas carbonáticas, depositadas em regiões rasas e elevadas de um lago de rifte, com pouco aporte de sedimentos terrígenos e condições de alta energia. Este mesmo autor afirma que essa sedimentação carbonática ocorreu concomitantemente à sedimentação siliciclástica da Formação Coqueiro Seco, de origem flúvio-deltaica e de leque deltaico, associado à sedimentação de lago profundo (talude lacustre). Ainda segundo Figueiredo (1981), o contato da base da Formação Morro do Chaves com a Formação Penedo é gradacional, sugerindo desenvolvimento de bancos carbonáticos sobre sedimentos siliciclásticos grossos de origem flúvio–deltaica; e o contato com a Formação Coqueiro Seco, sobreposta, também é gradacional, indicando uma progressiva entrada de terrígenos na bacia com o estabelecimento de sistemas flúvio–deltaicos e aluviais.

Este mesmo autor descreve que os intervalos de coquinas são compostos por *grainstones* ou *packstones* de bivalves intercalados com *mudstones* raramente dolomitizados e *wackestones* de bivalves, indicativos de sedimentação rasa em ambiente de alta energia e alta produtividade de matéria orgânica. Já Azambuja *et al.* (1998) afirmam que a formação é composta por conglomerados reelaborados por ondas e arenitos ricos em bivalves depositados em leques deltaicos próximos a bordas de falha NE, e espessas camadas de coquinas e folhelhos escuros, de origem lacustre. Azambuja *et al.* (1998) também afirmam que a Formação Morro do Chaves representa um sistema transgressivo de 3ª ordem, de idade Jiquiá,

que apresenta espessuras de 50 a 350m, sendo as seções mais espessas relacionadas a blocos falhados.

Para Azambuja *et al.* (1998), durante transgressões, a área era inundada e um grande lago se formava. Porém, durante períodos secos, o mesmo teria um balanço hídrico negativo e algumas partes do lago tornavam-se isoladas do lago principal, favorecendo a deposição de folhelhos escuros. Estes seriam depositados em águas relativamente rasas, como é indicado pela presença de *mudcracks* no topo de alguns deles.

Teixeira (2012) reconhece 16 fácies sedimentares para a Formação Morro do Chaves na região da mina CIMPOR, sendo seis de rochas siliciclásticas e dez de rochas carbonáticas. Dentre estas rochas siliciclásticas definidas pelo autor estão folhelhos descritos como siltito argiloso e argilito siltiloso laminados, além de lamito bioturbado, arenitos médio a grosso e conglomerado clasto suportado. As rochas carbonáticas são descritas como calcarenitos, calciruditos e calcário bioclásticos.

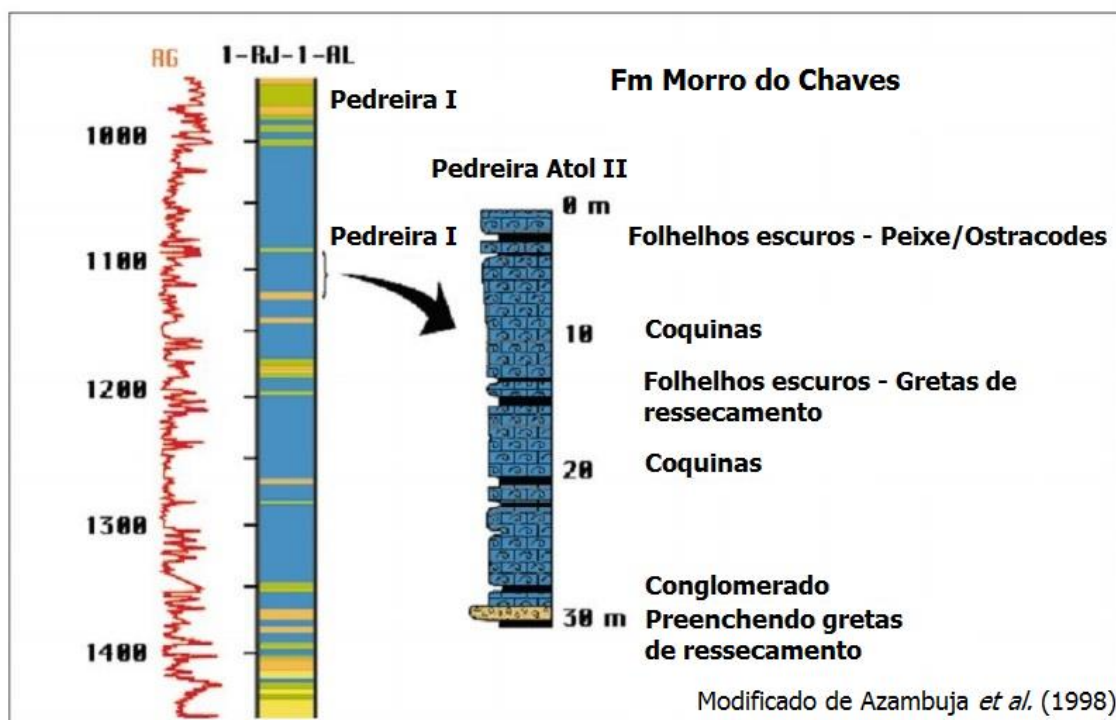


Figura 10 - Poço 1-RJ-1-AL perfurado próximo à mina da empresa CIMPOR (antiga Pedreira Atol), mostrando as intercalações e variações de proporção de coquinas, arenitos e folhelhos ao longo da evolução da bacia (Modificado de Azambuja *et al.*, 1998).

Na antiga Pedreira Atol (mina CIMPOR), Azambuja *et al.* (1998) descrevem ciclos sedimentares começando com *mudcracks*, preenchidos por coquina ou conglomerado, seguido de camadas de coquinas, que posteriormente são cobertas por folhelhos escuros (Figura 10).

Apesar disso, nem sempre se encontram *mudcracks* na base das coquinas, e isso explica-se pelo fato dessa base ser erosiva, de alta energia. Estes autores também descrevem clastos de folhelhos de cor verde clara na base da maior parte das camadas de coquinas, retificando que estas representam uma superfície transgressiva erosional. Outra observação feita pelos autores na mina CIMPOR é a rápida variação lateral na espessura das camadas de coquinas e folhelhos. Isso se explicaria pela atividade sindeposicional relacionada à borda de falha da bacia, observada também na linha sísmica interpretada próximo à mina (Figura 11).

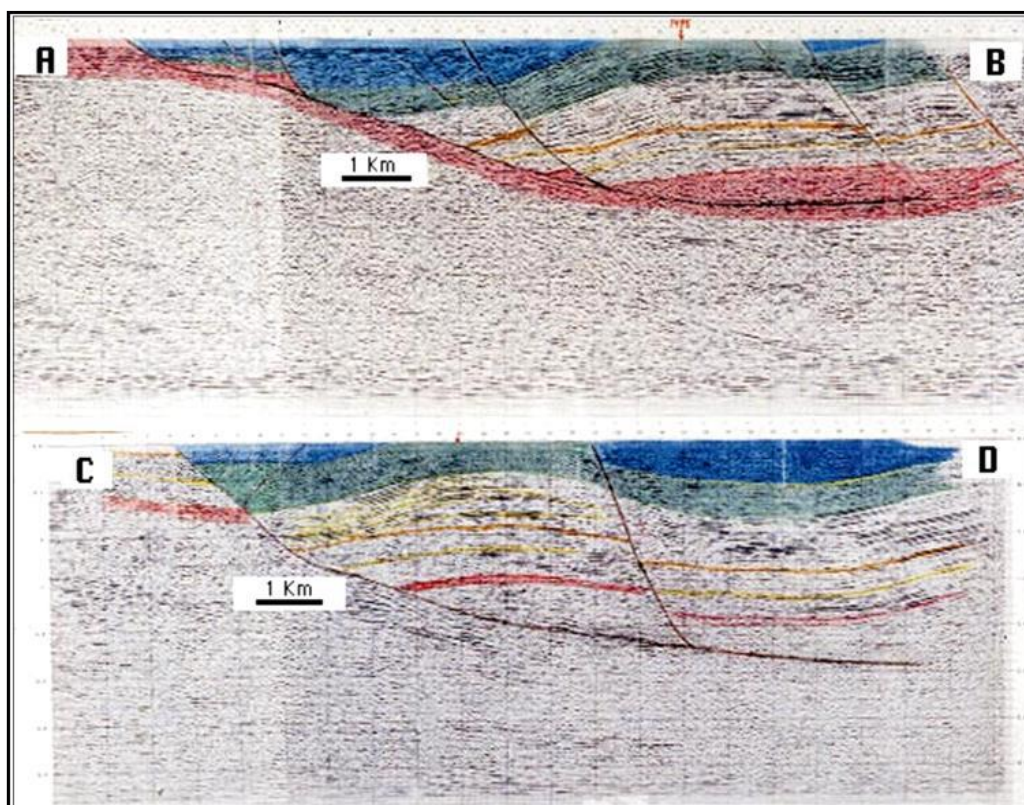


Figura 11 – Seções sísmicas realizadas nas vizinhanças da mina CIMPOR. As seções sísmicas estão perpendiculares entre si. Uma falha principal lístrica, falhas sintéticas e um anticlinal roll-over estão nítidos. Na imagem é possível reconhecer uma margem ativa e uma margem flexural e há espessamento das “camadas” em direção à borda ativa, indicando uma atividade tectônica sinsedimentar com criação de espaço de acomodação (Azambuja *et al.*, 1998).

Teixeira (2012) propôs um modelo paleoambiental que aponta para um modelo tectônico de lagos com uma margem de borda de falha e outra margem flexural. Na margem de borda de falha há a predominância de uma sedimentação terrígena em leques deltaicos, enquanto na margem flexural predomina sedimentação carbonática em plataformas e praias bioclásticas (Figura 12).

O mesmo autor afirma que, durante eventos de tempestade, a erosão das ondas arranca os bivalves do substrato e as correntes os transportam em direção às praias e plataformas. Este autor afirma que durante os períodos de nível relativo do lago alto, a sedimentação é controlada por ondas e correntes de tempestade, causando a geração e progradação de praias e plataformas bioclásticas, e que durante períodos de nível relativo do lago baixo, é controlada por um sistema fluvial que reelabora essas praias e plataformas, com entrada de terrígenos e intemperismo das coquinas.

Equivalentes depósitos de coquinas são encontrados na Formação Lagoa Feia, atualmente denominada de Grupo Lagoa Feia (Winter *et al.*, 2007), na Bacia de Campos, e nas bacias do Oeste Africano, como a Formação Toca, na Bacia do Congo, ótimos reservatórios de petróleo (Teixeira, 2012).

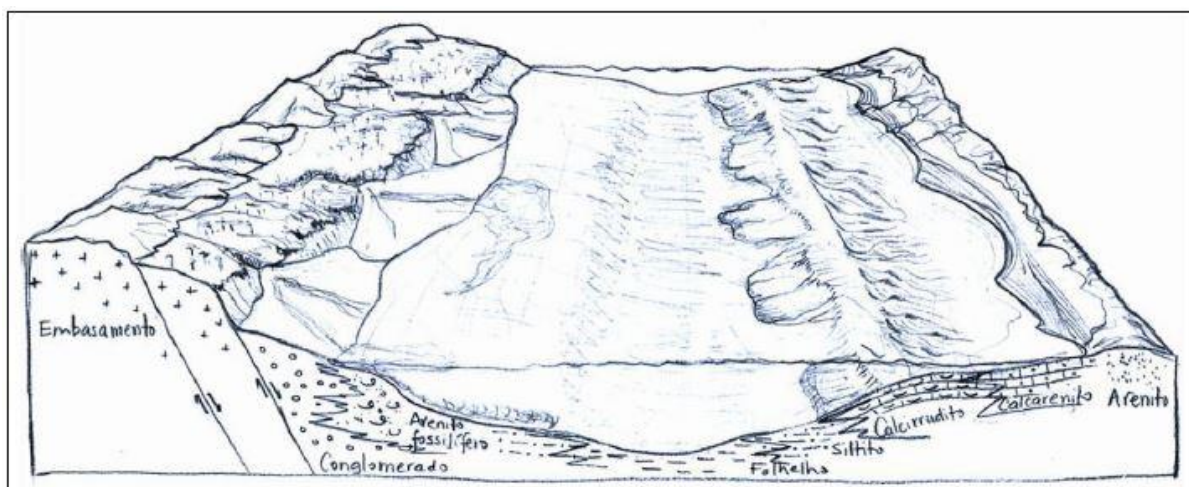


Figura 12 - Modelo proposto por Teixeira (2012) que representa o lago no estágio rifte. No lado esquerdo, margem falhada do rifte e à direita a margem flexural.

3.3.1.1 Folhelhos

Folhelho é uma rocha terrígena de granulometria fina ($< 0,062$ mm) que apresenta fissilidade, podendo apresentar laminação ou não (Potter *et al.*, 2005). Uma vez que não há um consenso por parte dos pesquisadores, hoje o termo folhelho pode ser aplicado a qualquer rocha microclástica que tenha fissilidade (ex: arenito muito fino argiloso, siltito argiloso, etc.). Estas rochas ainda podem equivaler aos termos “microclásticos”, “lamitos”, “pelitos” e “lutitos”. Desta forma, o termo folhelho engloba uma ampla gama de litologias e nomenclaturas (Carelli, 2010), representando aproximadamente dois terços do volume de rochas sedimentares do registro geológico (Potter *et al.*, 2005).

Os sedimentos siliciclásticos que se intercalam com as coquinas da Formação Morro do Chaves foram descritos por diversos autores, principalmente pelo seu conteúdo palinológico e geoquímico orgânico. Como citado anteriormente, Figueiredo (1981) afirma que estas camadas são compostas por *mudstones*. Azambuja *et al.* (1998), em um afloramento na cidade de Propriá, as descrevem como compostas por grãos de filito e xisto, quartzo e feldspato. Descrevem também que os tipos mais comuns de estruturas sedimentares encontradas são estratificação e laminação cruzada por ondas e estruturas do tipo *hummocky*. Bioturbações são comuns em determinados níveis de arenitos finos e siltitos. Estes mesmos autores afirmam que os folhelhos são ricos em matéria orgânica e contêm níveis de ostracodes não-marinhos e fragmentos de peixes. Estes também descrevem em afloramento na antiga pedreira Atol (mina CIMPOR) carbonatos principalmente compostos por bivalves não-marinhos e ostracodes, intercalados com estreitas camadas (centímetros a poucos metros) de folhelhos ricos em matéria orgânica, com valores de COT maiores que 8%. Estes folhelhos pretos também apresentam altas concentrações de ostracodes não-marinhos e fragmentos de peixe.

Para Azambuja *et al.* (1998), essa presença de grandes concentrações de ostracodes e fragmentos de peixes seria devido à eventos de tempestade, que romperiam a estratificação da

coluna d'água, causando a mistura de águas óxicas e anóxicas e, assim, criando uma extinção em massa. Devido a predominância da evaporação, houve um aumento na salinidade da água, o que contribuiu para o estabelecimento dessa estratificação e de algas e bactérias. Como resultado, a anoxia desenvolveu-se favorecendo a preservação da matéria orgânica (2-8% COT).

Teixeira (2012) descreve as fácies de folhelhos como uma parte distal do lago, em que predominava um ambiente de baixa energia. Ele questiona se as gretas observadas na mina CIMPOR, descritas também por Azambuja *et al.* (1998), são de fato de ressecamento. Segundo Teixeira (2012), estas gretas de contração encontradas na Formação Morro do Chaves exibem feições incomuns em gretas de ressecamento (*eg.* injectitos e padrões ortogonais e sinuosos) e não possuem outras feições comuns a este tipo de greta (*eg.* padrões poligonais e associação com outras evidências de ressecamento) (Figura 13 e 14). Este autor observa que estas estão distribuídas de forma descontínua em uma superfície de contato entre folhelhos e coquinas, sendo associadas com marcas de carga. Além disso, o preenchimento pode ser dado por injectitos de cima para baixo e de baixo para cima, sendo encontrados por vezes deformados, cisalhados e até rompidos. Este mesmo autor também observa outros aspectos nos folhelhos que questionam a origem destas gretas: (1) não há variação faciológica nos folhelhos em direção ao topo que indique raseamento; (2) as laminações internas dos folhelhos são rompidas e arrastadas para baixos pelos injectitos, há “domos” de folhelhos que geram superfícies côncavas na base das coquinas e estruturas em chama, que indicam que estas camadas estavam plásticas e saturadas com água durante sua geração; e (3) a observação de falhas de crescimento em seções sísmicas da Formação Morro do Chaves (Azambuja *et al.*, 1998), indicando atividade tectônica significativa durante a sedimentação. Com isso, o autor acredita que estas são **gretas de diástase** – estruturas sedimentares de origem secundária causadas por perda de água e contração durante abalos sísmicos (Teixeira, 2012) –, devido

maior coerência com as feições encontradas. Neste trabalho, as gretas encontradas também serão interpretadas como gretas de diástase, devido à descrição se aproximar mais ao descrito por Teixeira (2012), além de outras evidências aqui discutidas.



Figura 13 - Estruturas do tipo chama (flame) ao lado de injectito, indicando que havia água na camada de folhelho (foto Renato Ramos) (Teixeira, 2012).



Figura 14 - Padrão ortogonal de gretas. Observe a presença de dois trends principais, diagonal em direções opostas (Teixeira, 2012).

3.3.1.2 Paleontologia e geoquímica

Maffissoni (2000), ao estudar os fósseis na camada de folhelho escuro, observou que os peixes são dos gêneros *Lepidotes* e *Mawsonia*, típicos de ambiente lacustre, e os ostracodes são da família *Cyprididae*, comum em ambientes subaquosos continentais. Este autor realizou uma análise de isótopos de O^{18} nos ossos dos peixes e sugeriu que os mesmos viveram em um lago com teores de sais elevados. Além disso, observou também que o grau de articulação dos peixes e ostracodes sugere um soterramento rápido sob condições ambientais calmas. Para o autor, uma possível explicação seria uma quebra na estratificação da coluna de água com mistura de águas óxicas e anóxicas gerando um evento mortandade.

Borges (1937) e Oliveira (1937) encontram em afloramentos da Formação Morro do Chaves, próximos às cidades de Propriá e Jaboatão, fósseis principalmente de bivalves nos gêneros *Anodontophora sp.*, *Gonodon sp.*, *Psammobia? sp.*, *Nucula sp.* e *Astarte sp.* Souza-Lima

et al. (2002) citam a presença de gastrópodes nas coquinas, e observam que os folhelhos são localmente ricos em fragmentos de peixes muito bem preservados, pertencentes ao gênero *Lepidotes*, e por vezes há a presença de ostracodes (*Cyprididae*).

Azambuja *et al.* (1998) afirmam que os biomarcadores nestes folhelhos apresentam uma abundância de compostos diagnósticos de condições de água hipersalina, tais como gamacerano, fitano, isoprenoides regulares C25, esqualeno e carotano B.

Maffissoni (2000) também fez análises de palinofácies e biomarcadores, que indicaram apenas matéria orgânica amorfa, não sendo encontrados palinomorfos. Este autor afirma que isto pode ser resultado da alteração de fitoplâncton, bactérias, macrófitas ou resinas de vegetais superiores. Já a análise de biomarcadores indica deposição em um ambiente com águas salinas, possivelmente abaixo da termoclina/químioclina, com pouco aporte de siliciclásticos e produção e preservação de matéria orgânica algal.

4 RESULTADOS

4.1 Fácies sedimentares

Nos intervalos estudados no testemunho (Figura 4) foram reconhecidas apenas três fácies sedimentares definidas por Teixeira (2012). As fácies Fv e Fp são as de maior expressão e apresentam-se intercaladas em todo o intervalo; a Fácies Lb também pôde ser observada e descrita em maiores detalhes. As demais Fácies Ax, Am e Cg não foram identificadas no material estudado. Além disso, foram descritas duas fácies em adição às descritas por Teixeira (2012), designadas Agi e Slc. No Quadro 2, pode-se comparar as fácies descritas pelo autor e as descritas neste estudo.

Quadro 3 - Fácies sedimentares siliciclásticas encontradas no perfil estudado comparado às definidas por Teixeira (2012).

FÁCIES		
ROCHAS SILICICLÁSTICAS	TEIXEIRA (2012)	PRESENTE TRABALHO
	DESIGNAÇÃO	DESIGNAÇÃO
	Fv	Fv
	Fp	Fp
	Lb	Lb
	-	Slc
	-	Agi
	Ax	-
	Am	-
	Cg	-

4.1.1 Fácies Agi – Arenito com gradação inversa

Diagnose – Arenito médio a grosso apresentando gradação inversa (Estampa I).

Descrição – Arenito composto por areia média a grossa, moderadamente selecionada, subangulosa a subarredondada, apresentando gradação inversa e comum cimentação por calcita (Estampa I). Apresenta cor *light greenish gray* 5GY 7/1. A composição da areia é dada principalmente por quartzo, feldspato, muscovita e biotita. Observa-se também intraclastos de

argila, que se encontram esmagados por sobrecarga, e valvas de ostracodes. As camadas são centimétricas e ocorrem intercaladas aos argilitos da fácies Fv. O contato basal com estes argilitos é erosivo.

Interpretação – Resulta de fluxos unidirecionais trativos.

Discussão – Esta fácies ocorre entre as profundidades 19,00 e 21,00 metros, constituindo cerca de 0,1% do testemunho e representando 0,3% do intervalo microclástico estudado. A gradação inversa e textura sugerem que a deposição ocorreu por fluxos unidirecionais trativos em um ambiente proximal.

4.1.2 Fácies Slc – Siltito com laminação cruzada por onda

Diagnose – Siltito argiloso apresentando laminação cruzada por onda.

Descrição – Siltito argiloso com laminação cruzada por onda, associado à fácies Fv. Apresenta cor *greenish gray* 5GY 6/1 e fratura preenchida por calcita (parcialmente dissolvida) e injectitos preenchidos por areia fina (moda) à média, composta por quartzo, micas, feldspato, e cristais de calcita, pirita e calcopirita (Estampa II).

Interpretação – Fluxos oscilatórios possivelmente causados por ondas de tempestade.

Discussão – Esta fácies não é comum no testemunho, constituindo menos de 0,1%, e está melhor representada entre as profundidades 32,85 a 32,95 metros. Pode representar fluxos oscilatórios causados por ondas de tempestade associados à fácies Fv.

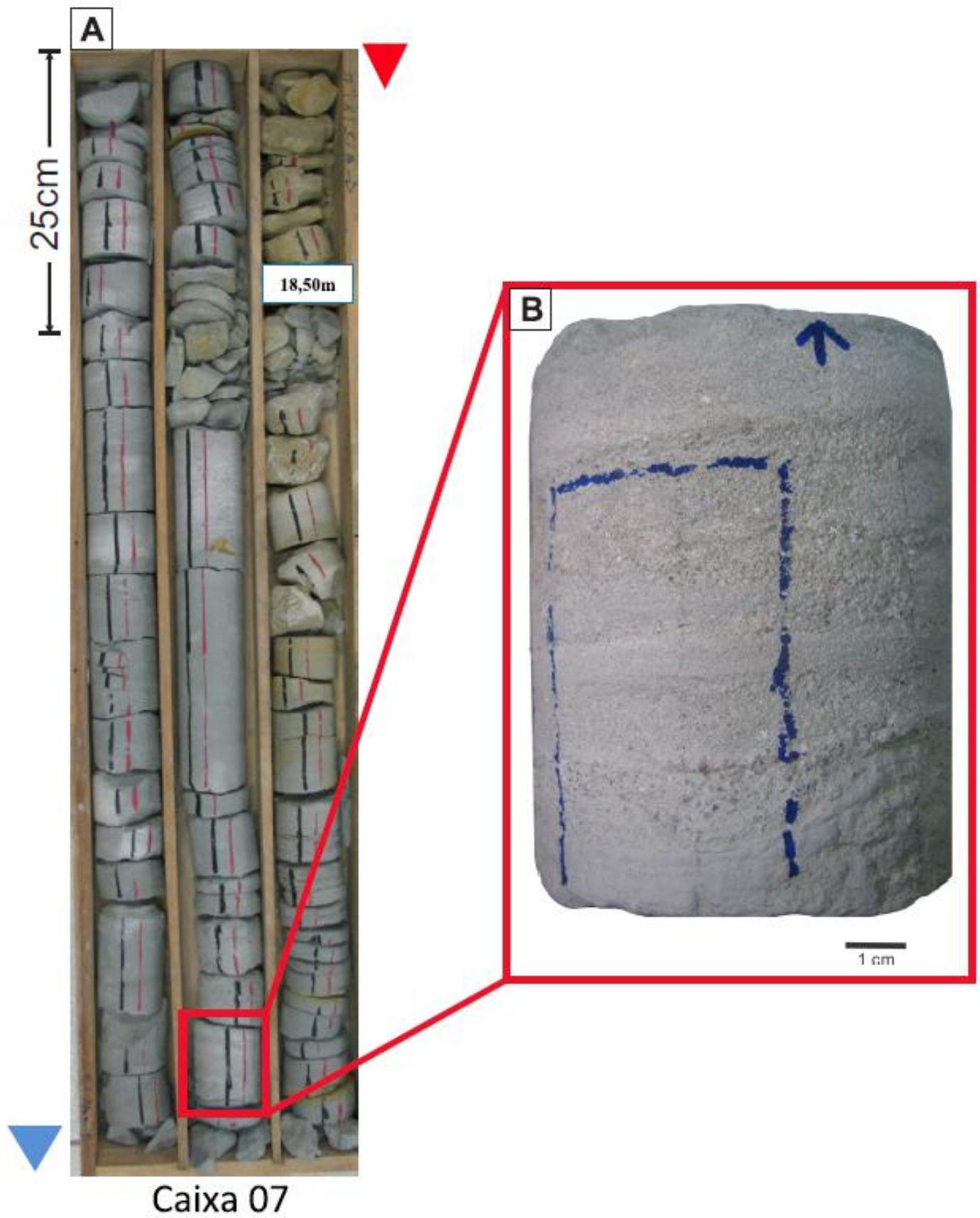
Como este trabalho objetiva o estudo de microfácies em folhelhos, as fácies descritas por Teixeira (2012) e as demais observadas no testemunho estudado serão detalhadas posteriormente utilizando a análise petrográfica e caracterização de microfácies. Porém, não foi confeccionada lâmina na fácies Slc e, por isso, esta não apresenta microfácies correspondente.

ESTAMPA I

Figura A – Caixa 07 do testemunho descrito, contendo intervalos argilosos intercalados aos arenitos da fácies Agi. Notar a mudança de coloração a partir da profundidade 18,50 m. Seta vermelha indica o topo e seta azul indica a base do intervalo contido na caixa.

Figura B – Foto de detalhe da fácies Agi, em intervalo de aproximadamente 20,17 m. Arenito médio a grosso, moderadamente selecionado, apresentando gradação inversa. Seta azul indica o topo da amostra e caneta azul indica o local de laminação.

ESTAMPA I

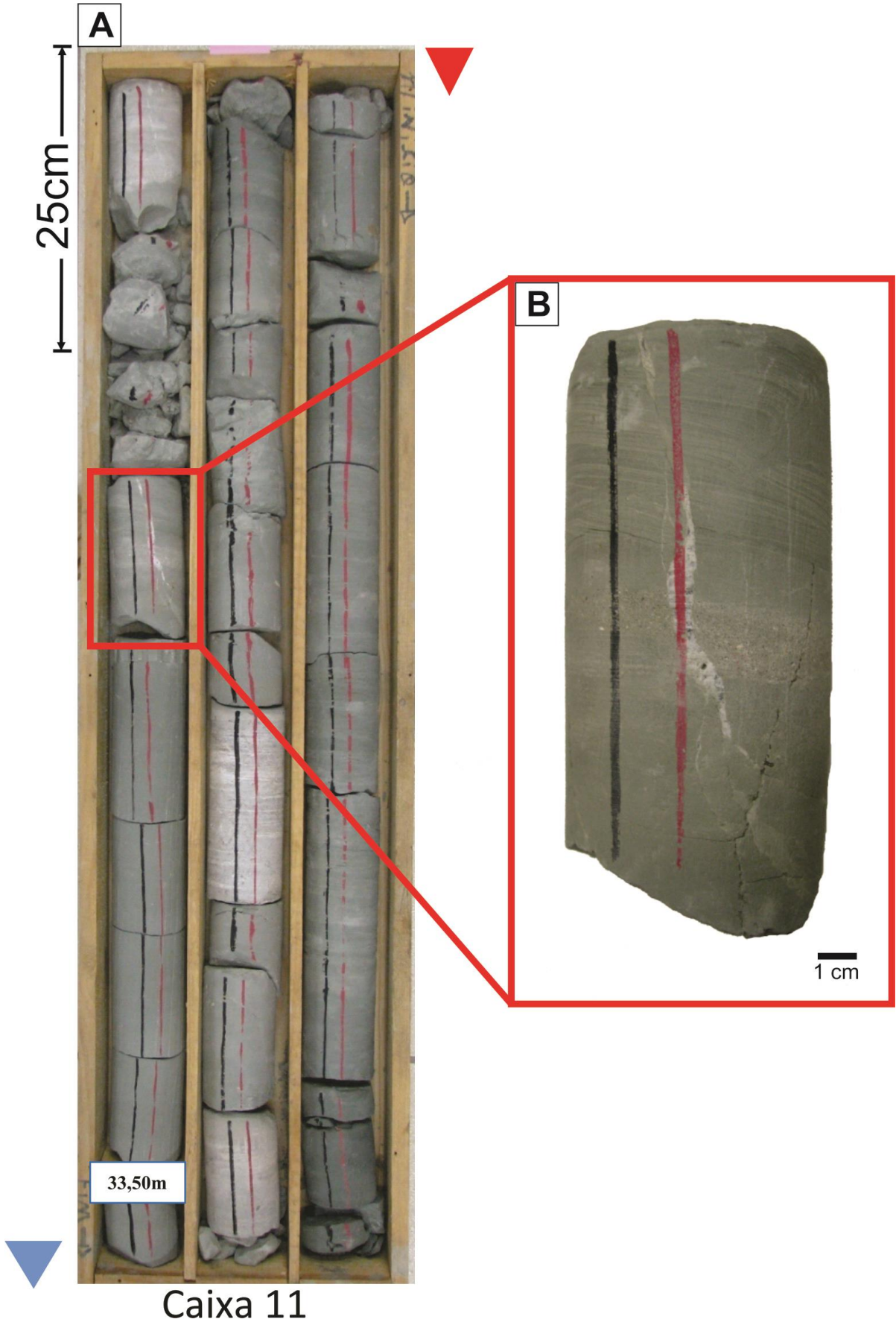


ESTAMPA II

Figura A - Caixa 11 do testemunho descrito, exibindo intervalos argilosos intercalados aos siltitos da fácies Slc e calcários. Seta vermelha indica o topo e seta azul indica a base da camada.

Figura B – Foto de detalhe da fácies Slc, na profundidade aproximada de 32,85 m. Siltito argiloso de cor verde, apresentando laminação cruzada por onda. Pode-se observar fratura preenchida por calcita e injectito preenchido por areia fina a média.

ESTAMPA II



4.2 MICROFÁCIES SEDIMENTARES

Aplicando o conceito de microfácies proposto por Carelli (2010), foram reconhecidas nove microfácies sedimentares, sendo oito siliciclásticas e uma carbonática, referentes aos intervalos do testemunho estudado da Formação Morro do Chaves (Quadro 3).

Quadro 4 - Quadro síntese das microfácies propostas nesse trabalho.

DESIGNAÇÃO	DIAGNOSE	INTERPRETAÇÃO
MF 1	Argilito siltoso de cor verde apresentando laminação plano-paralela	Alternância de processos decantativos e fluxos trativos unidirecionais em regime inferior, em ambiente de águas subóxicas
MF 2	Argilito siltoso de cor verde apresentando estrutura maciça	Decantação de finos em águas subóxicas, sob influência de fluxos turbulentos de baixa densidade
MF 3	Calcário cristalino com composição de microesparita	Resulta de processos diagenéticos pós-deposicionais
MF 4	Argilito siltoso físsil de cor preta, rico em matéria orgânica, apresentando laminação plano-paralela e lâminas de ostracodes	Decantação de finos com raros eventos de mortandade de ostracodes em águas anóxicas
MF 5	Siltito argiloso de cor preta apresentando estrutura maciça e bioclastos recristalizados fragmentados	Decantação de finos em águas anóxicas, com posterior diagênese
MF 6	Siltito argiloso de cor verde apresentando laminação plano-paralela dada por níveis de ostracodes	Decantação de finos e frequentes eventos de mortandade de ostracodes em águas subóxicas, seguido de reorganização biogênica
MF 7	Siltito argiloso de cor verde apresentando estrutura maciça	Decantação de finos em águas subóxicas, sob influência de fluxos trativos unidirecionais em regime inferior, seguido de reorganização biogênica
MF 8	Siltito com intraclastos de argila apresentando bioturbação piritizada	Resulta de fluxos trativos, seguido de reorganização biogênica
MF 9	Arenito fino a grosso apresentando gradação inversa	Resulta de fluxos unidirecionais trativos

Quadro 5 - Quadro comparativo entre as fácies definidas por Teixeira (2012), as fácies encontradas e adicionais e as microfácies propostas neste trabalho.

FÁCIES		MICROFÁCIES
TEIXEIRA (2012)	PRESENTE TRABALHO	PRESENTE TRABALHO
DESIGNAÇÃO	DESIGNAÇÃO	DESIGNAÇÃO
ROCHAS SILICICLÁSTICAS	Fv	MF 1
		MF 2
		MF 3
		MF 6
		MF 7
	Fp	MF 4
		MF 5
	Lb	MF 8
	-	Slc
	-	Agi
	Ax	-
	Am	-
	Cg	-

4.2.1 Microfácies MF 1 – Argilito verde laminado

Diagnose – Argilito silteoso de cor verde apresentando laminação plano-paralela.

Descrição – Sedimentos argilosos e sílticos moderadamente selecionados, subarredondados, com microtrama orientada e contendo concreção fosfática. Macroscopicamente, sua cor é definida como *greenish gray* 10GY 5/1 a 5G_1 6/1. Esta microfácies apresenta laminação plano-paralela (0.5 a 2 mm) dada por intercalação de níveis argilosos e níveis mais ricos em silte/areia muito fina. Estes grãos de silte/areia muito fina são compostos predominantemente por quartzo, e secundariamente por muscovita, biotita, feldspato e zircão como elemento traço. Concreções de pirita e intraclastos de argila são encontrados. Observa-se fissilidade óptica e presença de microfalhas deslocando as laminações. Níveis ricos em fragmentos fosfáticos são observados localmente em testemunho. A análise de DRX mostrou que a composição mineralógica da fração argila é quartzo, muscovita e argilominerais dos grupos da caolinita, clorita e illita (Apêndice B).

Interpretação – Alternância de processos decantativos e fluxos trativos unidirecionais em regime inferior, em ambiente de águas subóxicas.

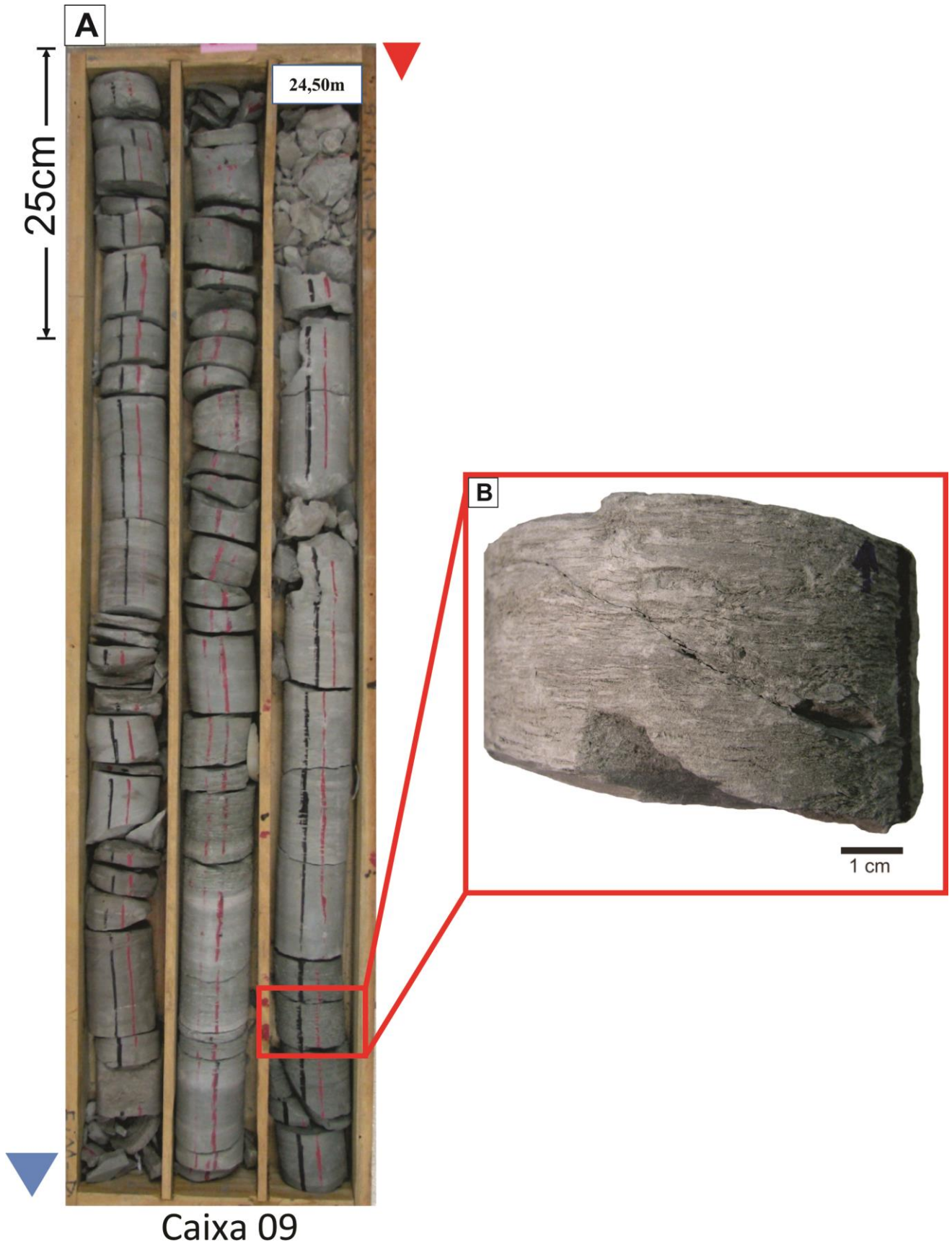
Discussão – Esta microfácies é representa cerca de 1,5% do testemunho contínuo e 3,2% do intervalo microclástico estudado, sendo comum nas profundidades 48 e 25 metros (Estampa III). A cor verde indica que a deposição ocorreu em um ambiente de baixa oxigenação (Eh baixo), mas a não preservação (acumulação) de matéria orgânica, evidenciada pelos valores baixos de COT ($< 1\%$), sugere que as condições de Eh não foram tão baixas quanto a microfácies MF 4. A microtrama orientada e a laminação plano-paralela sugerem uma deposição por decantação em um ambiente de baixa energia, mas a alternância com níveis ricos em silte e areia muito fina subarredondados (Estampa IV) sugere influência de fluxos hipo- e hiperpicnais. Esta microfácies provavelmente foi depositada em um ambiente distal de baixa energia em águas subóxicas, sob influência fluvial na forma de fluxos hipo- e hiperpicnais. Concreção de pirita deformando as laminações ao redor pode representar diagênese inicial, mostrando que a compactação ocorreu após o seu crescimento (Tucker, 2001). Como não é possível reconhecer com precisão a presença de microfalhas de crescimento (sin-tectônicas), as microfalhas aqui descritas são interpretadas como posterior à deposição da microfácies, indicando posterior atividade tectônica na bacia.

ESTAMPA III

Figura A - Caixa 09 do testemunho descrito, mostrando alternância de intervalos argilosos escuros e esverdeados. Seta vermelha indica o topo e seta azul indica a base da camada.

Figura B – Foto de detalhe em um intervalo em aproximadamente 25,30 m de profundidade. Seta azul indica o topo da amostra. Observar as laminações falhadas do argilito, característico da MF 1 (Argilito verde laminado).

ESTAMPA III



ESTAMPA IV

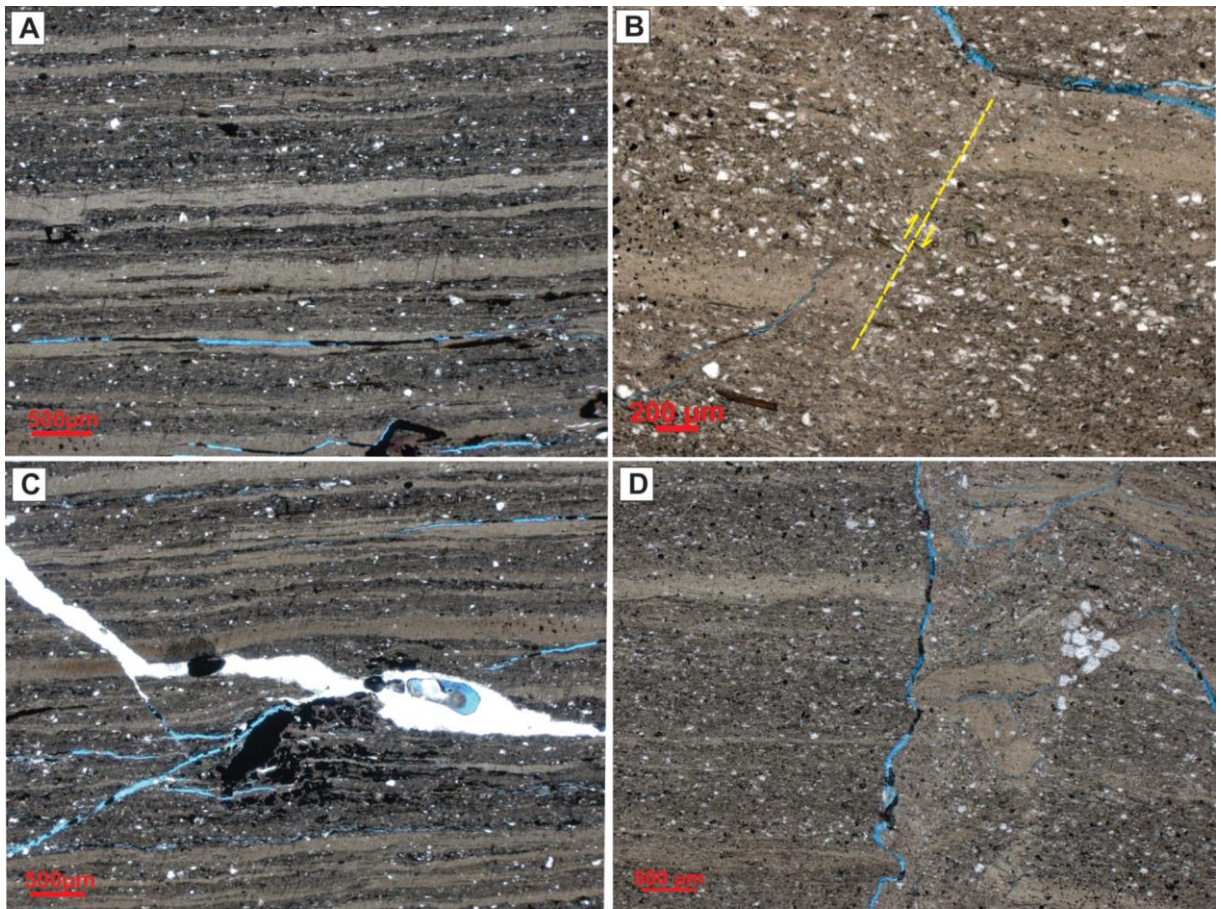
Figura A – Fotomicrografia da MF 1. Lâmina de profundidade 38,15 m (N//, 2.5x). Observar a laminação plano-paralela dada por níveis ricos em silte/areia muito fina e níveis argilosos.

Figura B – Fotomicrografia da MF 1. Lâmina de profundidade 48,48 m (N//, 5x). Observar microfalha deslocando a laminação (seta vermelha).

Figura C – Fotomicrografia da MF 1. Lâmina de profundidade 38,15 m (N//, 2.5x). Observar concreção de pirita deslocando as laminações ao centro.

Figura D – Fotomicrografia da MF 1. Lâmina de profundidade 48,48 m (N//, 2.5x). Observar microfalha deslocando as laminações ao centro.

ESTAMPA IV



4.3.2 Microfácies MF 2 – Argilito verde maciço

Diagnose – Argilito siltoso de cor verde apresentando estrutura maciça.

Descrição – Sedimentos argilosos e sílticos moderadamente a bem selecionados, subarredondados e microtrama caótica. Macroscopicamente, sua cor é *greenish gray* 5GY 6/1 a 5G_1 6/1. Esta microfácies apresenta estrutura maciça (Estampa V). Os grãos de silte são compostos predominantemente por quartzo e muscovita, e secundariamente por biotita e zircão. Fragmentos fosfáticos são raros e pirita (framboidal e cúbica) são comuns. Observou-se ostracode articulado e recristalizado, porém não é representativo na microfácies. A análise de DRX mostrou que a composição mineralógica da fração argila é quartzo, muscovita, microclina, e argilominerais do grupo da caolinita, clorita e illita (Apêndice B). Em testemunho, é comum níveis centimétricos de areia fina (moda) a média associados aos argilitos, com grãos bem selecionados, sub arredondados, base erosiva e micromarcas milimétricas de carga e chama. Também é possível observar injectitos (diques sedimentares), compostos por grãos de areia fina à média de quartzo, muscovita e feldspato, e cristais de pirita e calcopirita, comumente cimentados por calcita. No contato com estes ocorre a recristalização e cimentação dos grãos por calcita, cobrindo uma área que pode variar entre 4 a 10 cm de tamanho. A presença de mosqueamento na transição da fácies Fp (microfácies MF 4) para Fv (microfácies MF 2) se torna visível também em lâmina, como indicado pela Estampa VI (Figura 19-d).

Interpretação – Decantação de finos em águas subóxicas, sob influência de fluxos turbulentos de baixa densidade.

Discussão – Esta microfácies é a mais comum, constituindo cerca de 17,8% do testemunho e 38% do intervalo microclástico estudado, e está melhor representada no intervalo entre 30 e 35 metros de profundidade. A cor verde e ausência de bioturbação

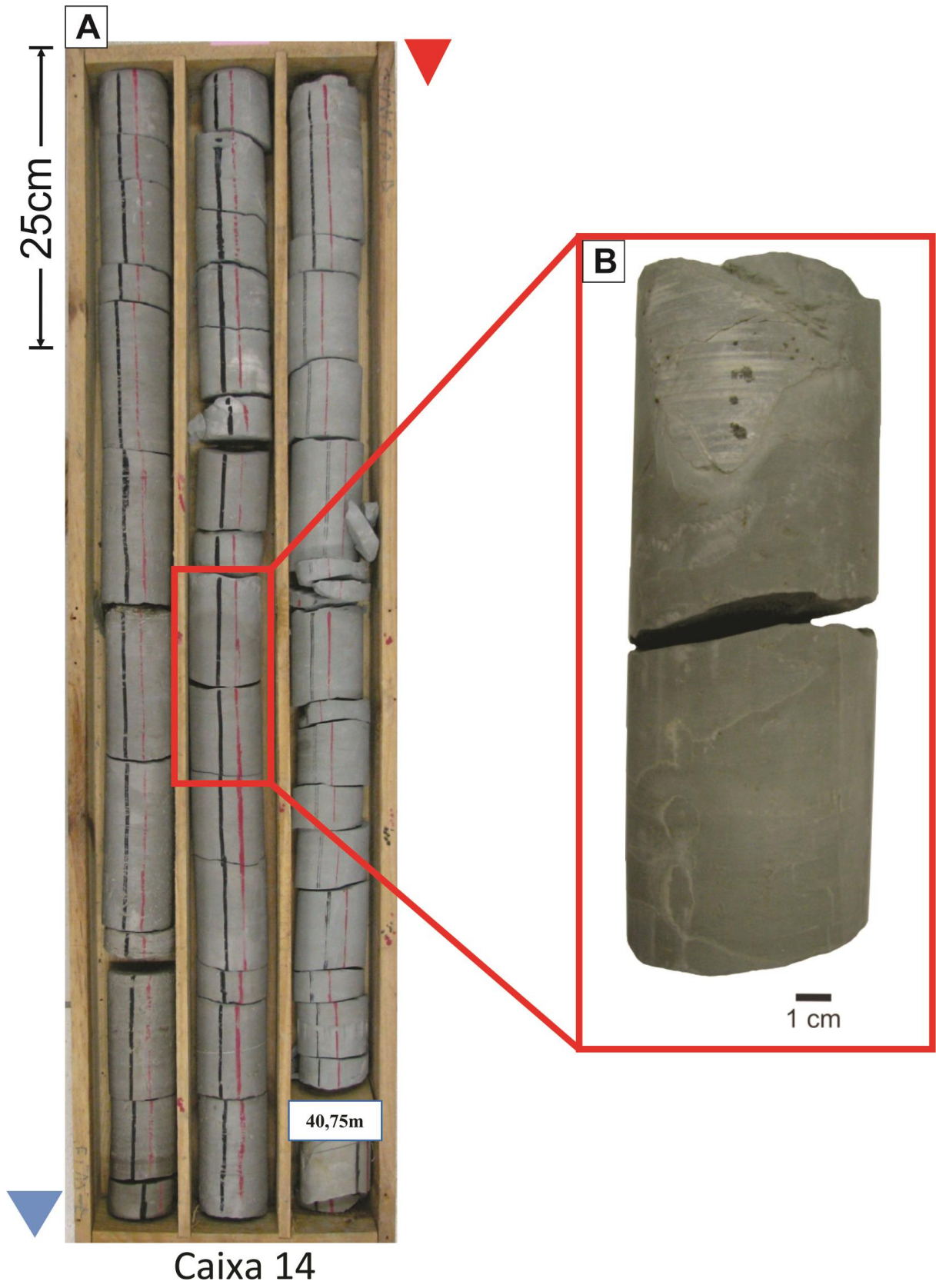
indicam que a deposição ocorreu em um ambiente de baixa oxigenação (Eh baixo), e a não preservação (acumulação) de matéria orgânica, evidenciada pelos valores baixos de COT (< 1%), assim como na microfácies anterior, sugere uma condição de Eh não tão baixa quanto a microfácies MF 4. A estrutura maciça, microtrama caótica e grãos moderadamente a bem selecionados, sugerem deposição por decantação em um ambiente de baixa energia em águas subóxicas. A ocorrência de camadas lenticulares centimétricas de areia muito fina e silte podem indicar influência episódica de fluxos turbulentos de baixa densidade que traziam sedimentos mais grossos para porção distal do lago. A presença de micromarcas de carga e chama indicam que as camadas argilosas estavam saturadas em água. Greta de diástase e injectitos sugerem eventos tectônicos na bacia que ocasionaram esse gretamento e injeções de sedimentos arenosos.

ESTAMPA V

Figura A – Caixa 14 do testemunho descrito, mostrando intervalo de argilito maciço. Seta vermelha indica o topo e seta azul indica a base da camada.

Figura B – Foto de detalhe em um intervalo de aproximadamente 41,30 m de profundidade. Observar a estrutura maciça do argilito, caracterizada pela MF 2 (Argilito verde maciço). Notar a coloração esverdeada da amostra. Observar também a presença de concreção carbonática com pirita.

ESTAMPA V



ESTAMPA VI

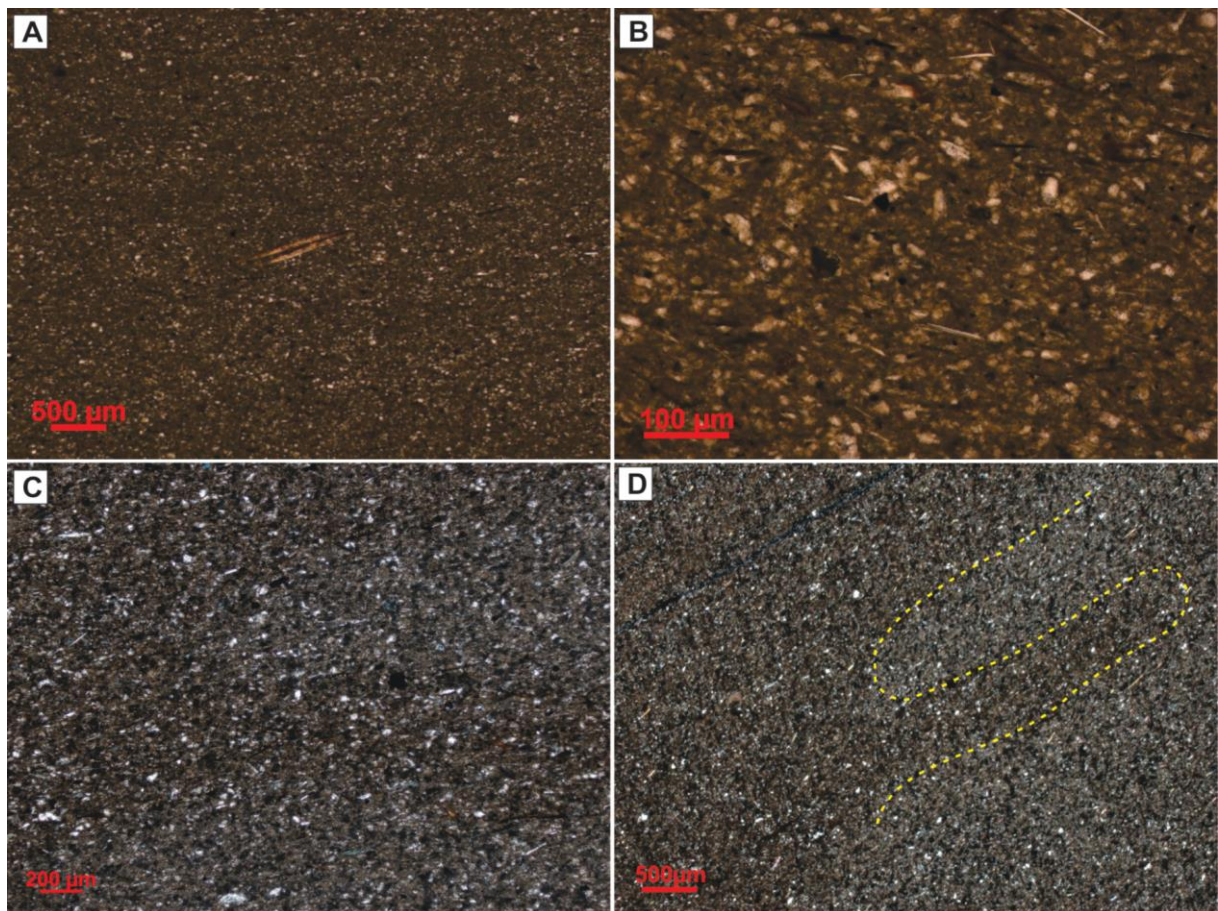
Figura A – Fotomicrografia da MF 2. Lâmina de profundidade 34,50 m (N//, 2.5x). Observar a estrutura maciça e fragmento fosfático ao centro.

Figura B – Fotomicrografia da MF 2. Lâmina de profundidade 34,50 m (N//, 10x). Observar a microtrama caótica.

Figura C – Fotomicrografia da MF 2. Lâmina de profundidade 35,30 m (N//, 5x). Observar estrutura maciça do argilito.

Figura D – Fotomicrografia da MF 2. Lâmina de profundidade 35,30 m (Nx, 2.5x) observar o mosqueamento, como indicado pelo tracejado amarelo.

ESTAMPA VI



4.2.3 Microfácies MF 3 – Calcário microcristalino

Diagnose – Calcário cristalino com composição de microesparita.

Descrição – É caracterizada por um calcário cristalino composto predominantemente por microesparita. É possível observar cerca de 15% de grãos de silte/areia muito fina moderadamente selecionados, sub a arredondados, compostos por quartzo e muscovita, e traços de biotita e feldspato. Observa-se cerca de 3% de argila e comumente valvas de ostracodes e intraclastos de carbonato. Por vezes encontra-se laminado, mostrando níveis mais siltosos (Estampa VIII), compostos predominantemente por quartzo e muscovita, e tendo os níveis argilosos substituídos por calcita durante diagênese. Raros fragmentos fosfáticos e cristais de pirita. Apresenta uma porosidade visual (móldica e vugular), por vezes parcialmente cimentada, de aproximadamente 5%. Em testemunho, foi possível observar a presença de óleo nos poros (Estampa VII). Esta microfácies ocorre como concreção carbonática que se estende a intervalos de 10 cm no testemunho, e comumente está associada à microfácies MF 2 e à fácies Slc, próxima aos injectitos encontrados. A análise de DRX mostrou que a composição mineralógica da fração argila é quartzo, muscovita, microclina, albita, calcita e argilominerais dos grupos da caolinita, clorita e illita (Apêndice B).

Interpretação – Resulta de processos diagenéticos pós-deposicionais

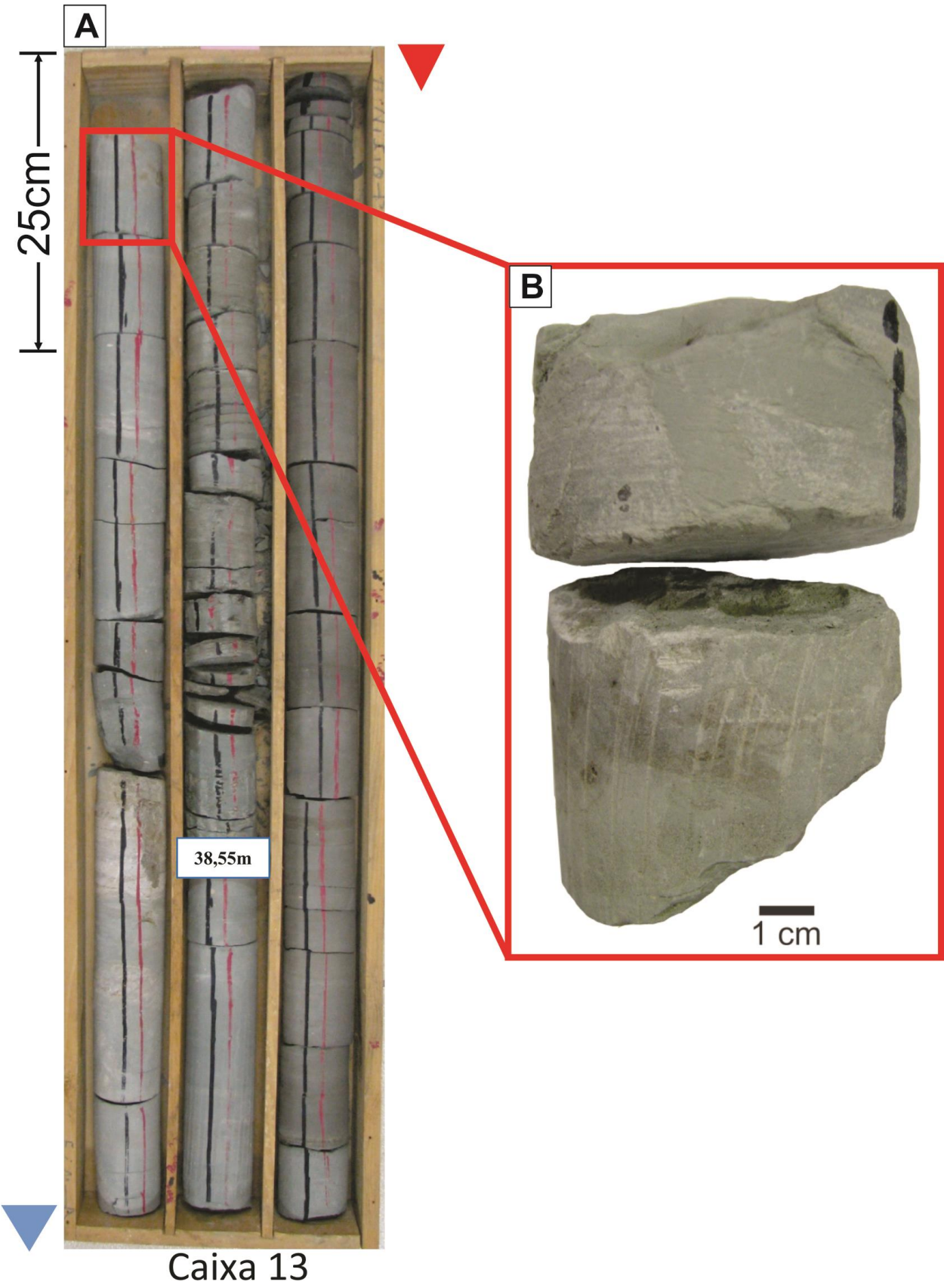
Discussão – Esta microfácies constitui cerca de 6,8% do testemunho e 14,5% do intervalo microclástico estudado, comumente associada à microfácies MF 2. A composição de calcita espática e grãos de silte é interpretada como resultante de processos diagenéticos que substituíram o material argiloso/siltoso pré-existente, possivelmente por percolação através de fraturas e pela própria porosidade do injectito de areia. Esta microfácies é geneticamente associada a estes injectitos que ocorre comumente nos argilitos da microfácies MF 2.

ESTAMPA VII

Figura A - Caixa número 13 do testemunho descrito, mostrando argilitos verdes intercalados com calcários e folhelho escuro. Seta vermelha indica o topo e seta azul indica a base da camada.

Figura B – Foto de detalhe do intervalo de aproximadamente 38,95 m de profundidade. Observar concreção carbonática no argilito da micro fácies MF 2, no qual esta ocorre associada. Notar os poros sujos de óleo.

ESTAMPA VII



ESTAMPA VIII

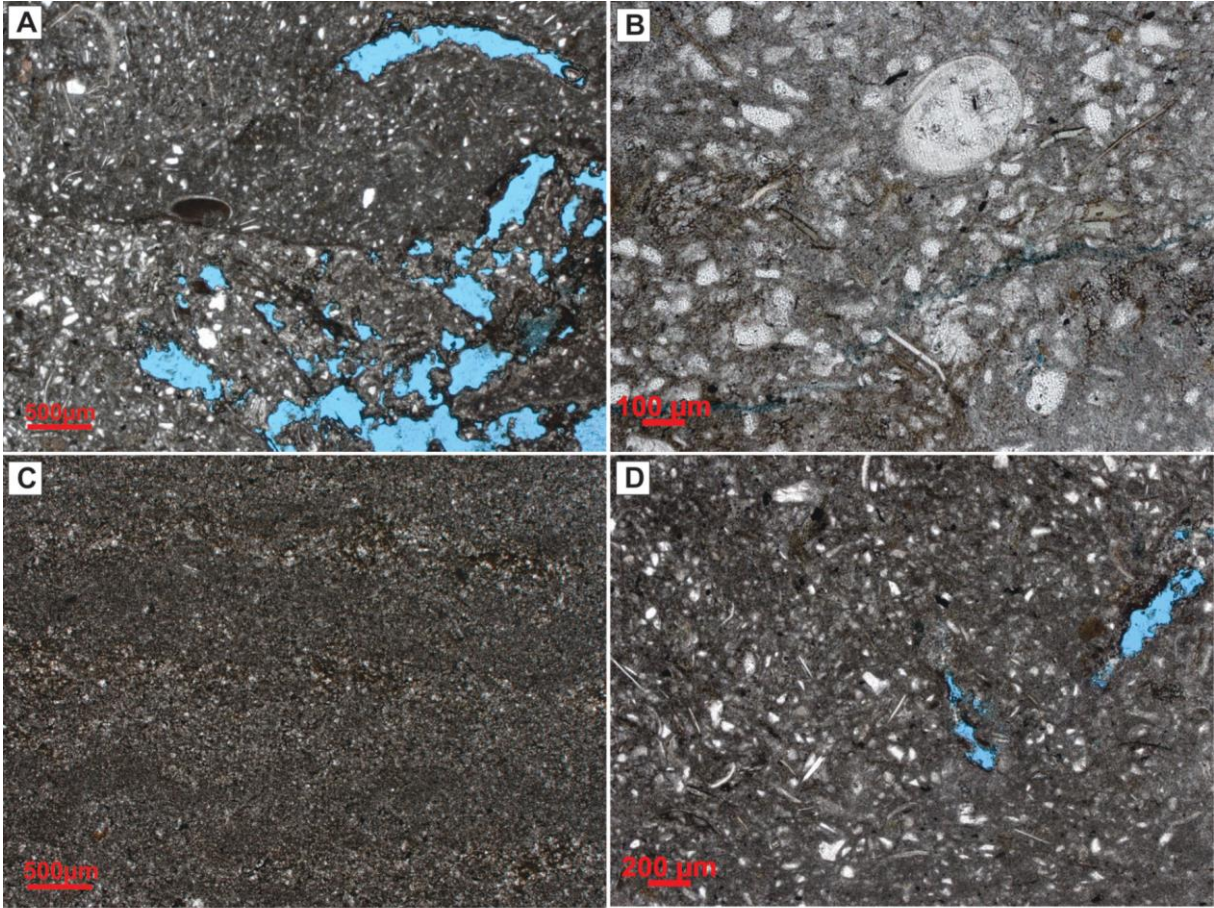
Figura A – Fotomicrografia da MF 3. Lâmina de profundidade 38,95 m (N//, 2.5x). Observar porosidade móldica e vugular.

Figura B – Fotomicrografia da MF 3. Lâmina de profundidade 38,95 m (N//, 10x). Observar ostracode articulado recristalizado.

Figura C – Fotomicrografia da MF 3. Lâmina de profundidade 27,10 m (N//, 2.5x). Observar laminação.

Figura D – Fotomicrografia da MF 3. Lâmina de profundidade 38,95 m (N//, 5x). Observar quantidade de grãos de quartzo e valvas de ostracodes. Notar porosidade vugular.

ESTAMPA VIII



4.2.4 Microfácies MF 4 – Folhelho preto laminado

Diagnose – Argilito siltoso físsil de cor preta, rico em matéria orgânica, apresentando laminação plano-paralela e lâminas de ostracodes.

Descrição – Sedimentos argilosos e silticos moderadamente selecionados, subangulosos a subarredondados, com microtrama orientada e rico em matéria orgânica. Sua cor, macroscopicamente, varia entre *greenish gray* 10Y 3/1 e *dark greenish gray* 10Y 5/1. Esta microfácies é marcada pela laminação plano-paralela dada por níveis ricos em matéria orgânica, que dão a fissilidade observada nos testemunhos e em lâmina petrográfica (fissilidade óptica). Na profundidade 151,05 m no testemunho, foi possível observar um nível de 5 cm com gradação inversa de argila para areia muito fina/fina com concreções de pirita. O topo com a camada sobreposta é erosivo. A composição dos grãos de silte é dada predominantemente por quartzo e muscovita, e secundariamente por biotita, k-feldspato (microclina) e raramente litoclastos de rocha metamórfica. Contém pirita cúbica e framboidal. Valvas de ostracodes desarticuladas de tamanho areia média a fina, fragmentos de peixes (fosfato) e concreções de pirita são localmente encontradas. Esta microfácies é a que mais se aproxima da descrição da fácies Fp definida por Teixeira (2012). A análise de DRX indica que a fração argila é composta por quartzo e muscovita, e argilominerais dos grupos da clorita e illita (Apêndice B).

Interpretação – Decantação de finos com raros eventos de mortandade de ostracodes em águas anóxicas.

Discussão – A microfácies MF 4 é comum em toda a extensão do testemunho, constituindo 6,8% deste e representando 14,5% do intervalo microclástico estudado. Está melhor representada entre as profundidades 42 e 44 metros (Estampa IX). A cor preta, microtrama orientada e laminação plano-paralela sugerem que esta foi depositada em um

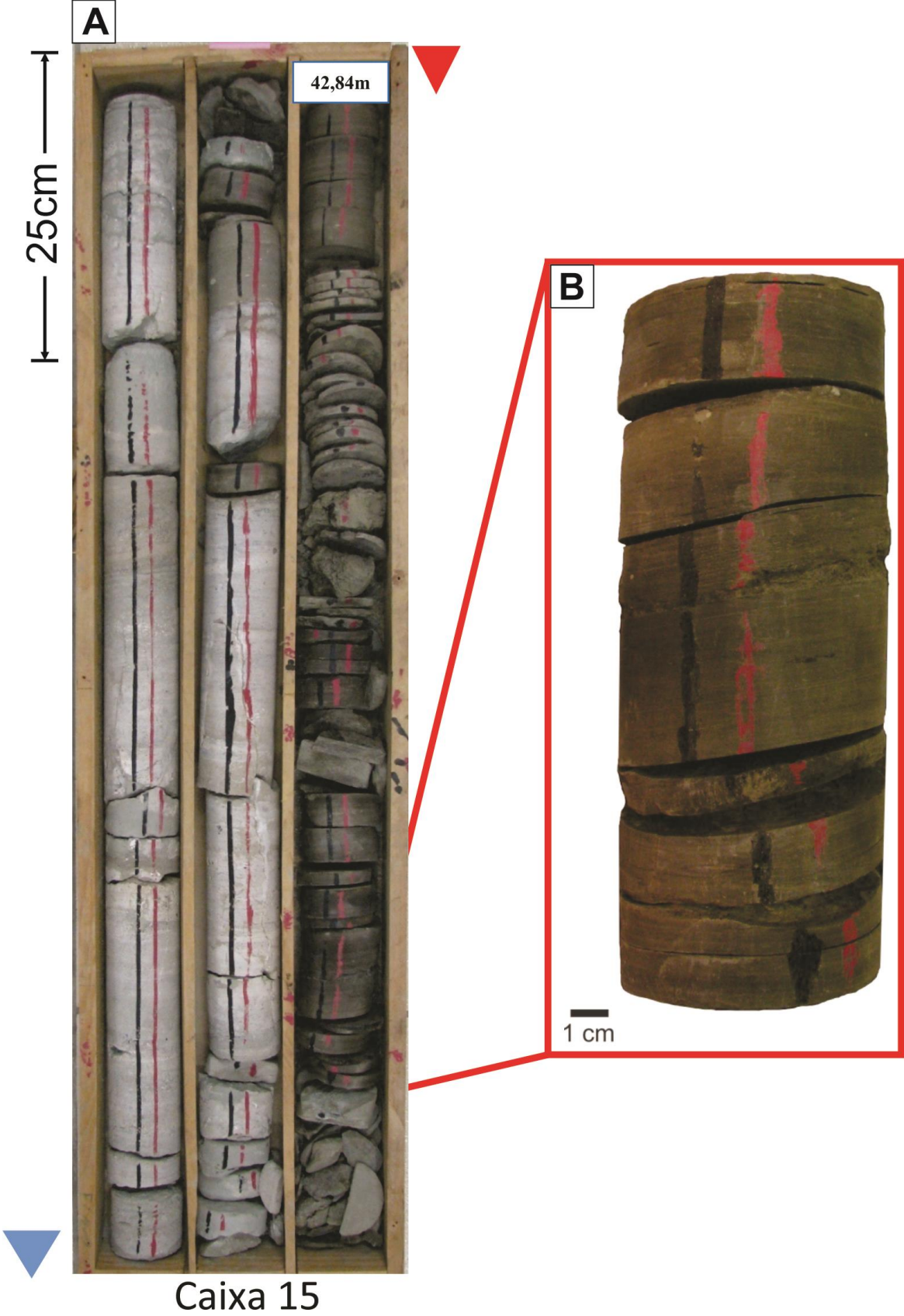
ambiente de baixa energia (Estampa X). O conteúdo fóssilífero e a preservação (acumulação) de grande quantidade de matéria orgânica, gerando valores de COT > 1%, chegando até 14%, indicam deposição em ambiente com condições de anoxia, abaixo da quimioclina/termoclina. A ocorrência de lâminas de ostracodes pode estar associada a eventos de mortandade no lago causado por quebra da quimioclina/termoclina e mistura de águas óxicas/anóxicas.

ESTAMPA IX

Figura A – Caixa número 15 do testemunho descrito, mostrando intervalos carbonáticos e arenosos e folhelhos escuros. Seta vermelha indica o topo e seta azul indica a base da camada.

Figura B – Foto de detalhe em um intervalo em aproximadamente 43,50 m de profundidade. Observar a fissilidade da amostra. Notar a cor escura devido à alta concentração de matéria orgânica.

ESTAMPA IX



ESTAMPA X

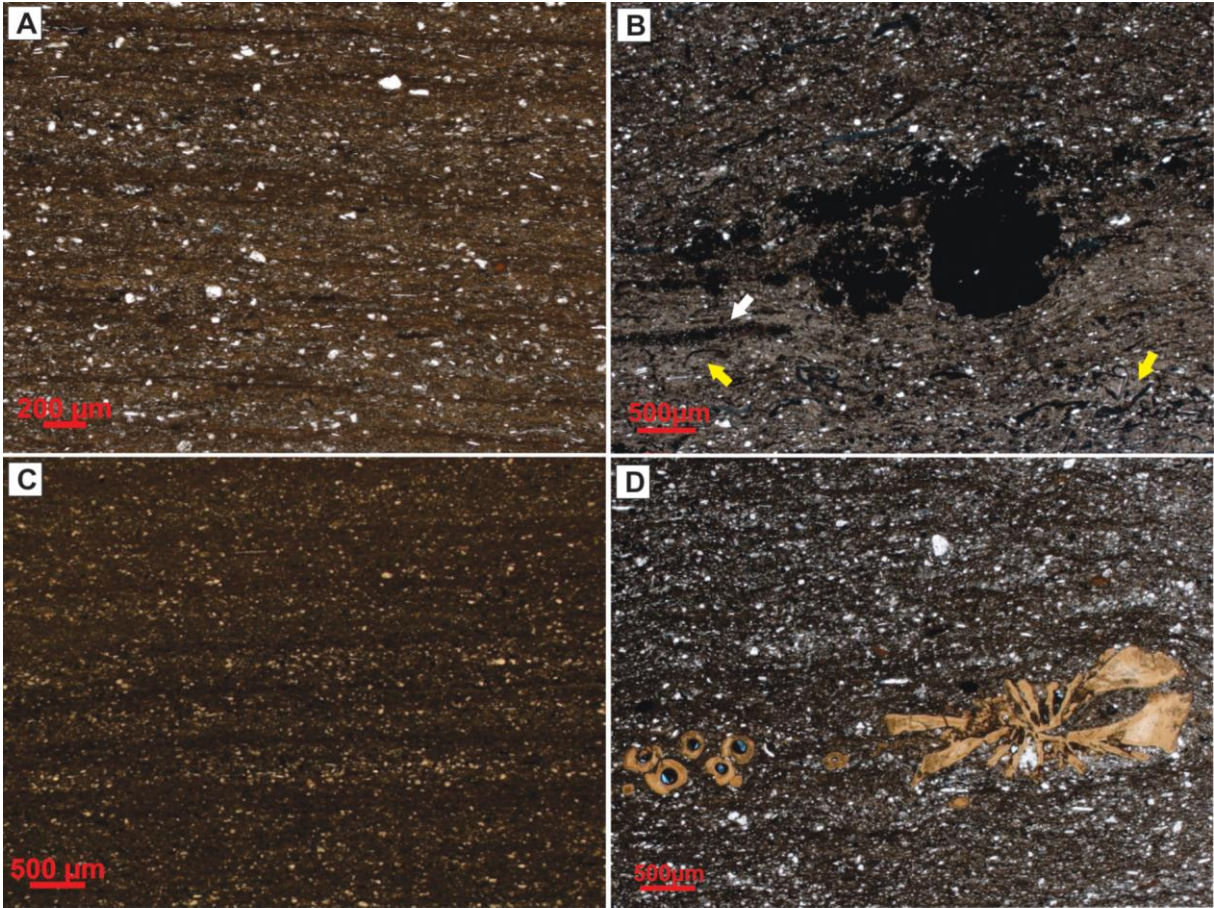
Figura A – Fotomicrografia da MF 4. Lâmina de profundidade 43,50 m (N//, 5x). Observar laminação plano-paralela marcada pela matéria orgânica.

Figura B – Fotomicrografia da MF 4. Lâmina de profundidade 53,83 m (N//, 5x). Observar concreção de pirita ao centro. Notar também a presença de ostracodes desarticulados (setas amarelas) e pirita framboidal (seta branca)

Figura C – Fotomicrografia da MF 4. Lâmina de profundidade 35,83 m (N//, 2,5x). Observar laminação plano-paralela marcada pela matéria orgânica.

Figura D – Fotomicrografia da MF 4. Lâmina de profundidade 150,90 m (N//, 2,5x). Observar fragmentos de peixe (fosfático).

ESTAMPA X



4.2.5 Microfácies MF 5 – Siltito preto maciço

Diagnose – Siltito argiloso de cor preta apresentando estrutura maciça e bioclastos recristalizados fragmentados.

Descrição – Sedimentos silticos e argilosos moderadamente selecionados, subangulosos a subarredondados e microtrama caótica. Apresenta estrutura maciça e cor *greenish gray* 10Y 5/1 (Estampa XI). Esta microfácies possui bioclastos recristalizados fragmentados de tamanho areia muito fina/fina, intraclasto de calcilito com ostracode articulado e raros fragmentos fosfáticos (Estampa XII). A composição de seus grãos de silte é predominantemente dada por quartzo e muscovita, tendo biotita, turmalina e rutilo como elementos traço. Pirita framboidal e cúbica podem ser observadas. Apresenta alteração composicional de argilominerais próximo a fraturas abertas e rara cimentação por calcita. A análise de DRX indica que a fração argila é composta por quartzo, muscovita e argilominerais dos grupos da caolinita, clorita e illita (Apêndice B).

Interpretação – Decantação de finos em águas anóxicas, com posterior diagênese.

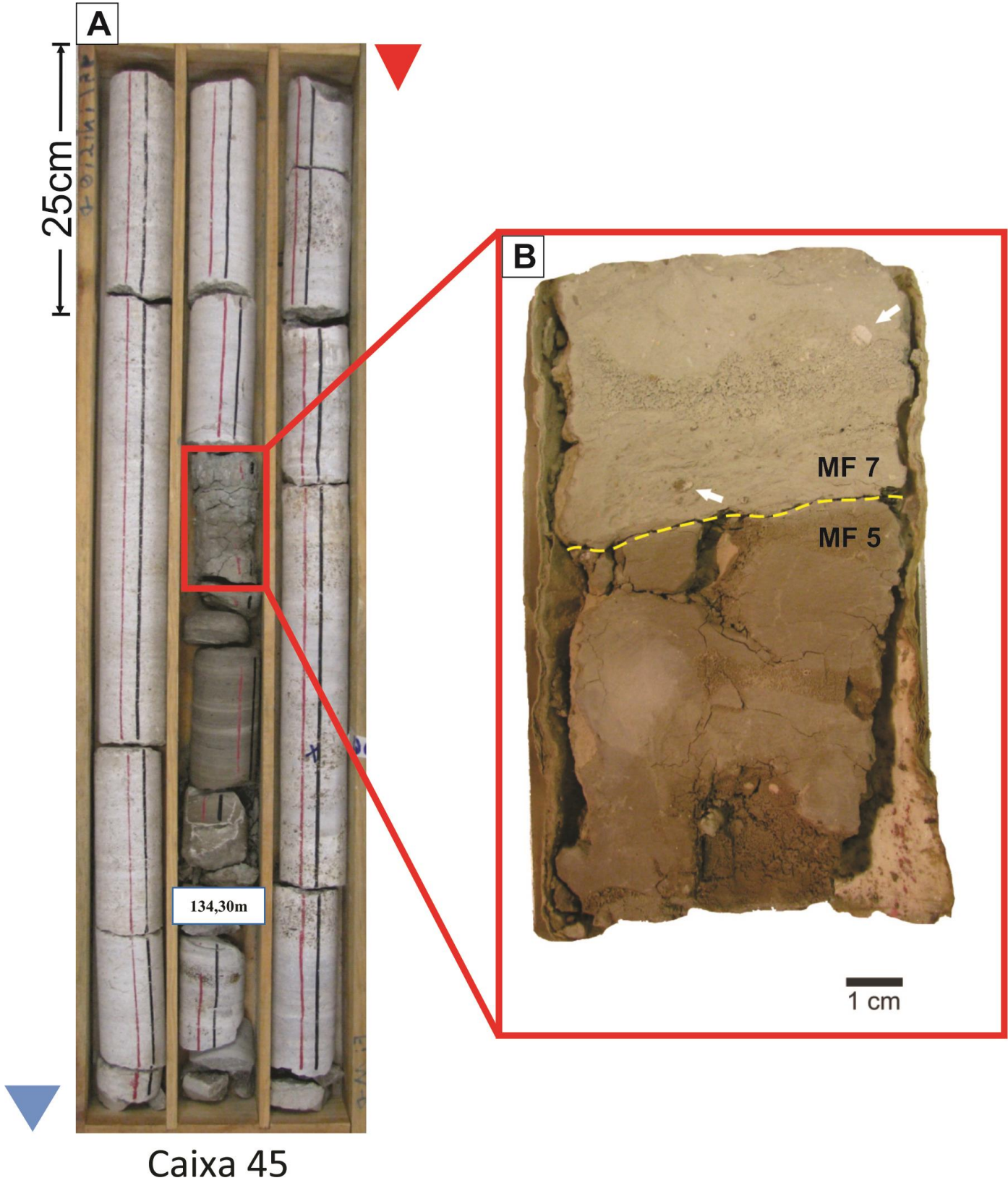
Discussão – Esta microfácies representa 0,05% do testemunho e 0,1% do intervalo microclástico estudado, não sendo representativa. A cor preta sugere uma deposição em um ambiente de baixa oxigenação (Eh baixo), em condição de Eh mais baixo que nas microfácies MF 1 e MF 2, mas mais alto que na microfácies MF 4, pois, mesmo nesta condição de Eh, não houve preservação (acumulação) de matéria orgânica, evidenciado pelo baixo valor de COT (< 1%). A cor preta e estrutura maciça sugerem uma deposição por decantação em um ambiente anóxico (abaixo da quimioclina/termoclina), mas a presença de intraclasto de calcilito com ostracode articulado e bioclastos recristalizados fragmentados indicam que este ambiente era mais proximal que a MF 4. Posterior diagênese alterou composicionalmente os argilominerais presentes, provavelmente pela percolação de fluido por fraturas.

ESTAMPA XI

Figura A – Caixa número 45 do testemunho descrito, mostrando sequência de coquinas com intervalo argiloso. Seta vermelha indica o topo e seta azul indica a base da camada.

Figura B – Foto de detalhe em um intervalo seccionado em aproximadamente 134,17 m de profundidade. Observar a estrutura maciça do siltito, característico desta microfácies. Notar o contato abrupto entre as microfácies MF 5 e MF 7, indicado pelo tracejado amarelo. Notar também a presença de nódulos carbonáticos na microfácies MF 7 (setas brancas).

ESTAMPA XI



ESTAMPA XII

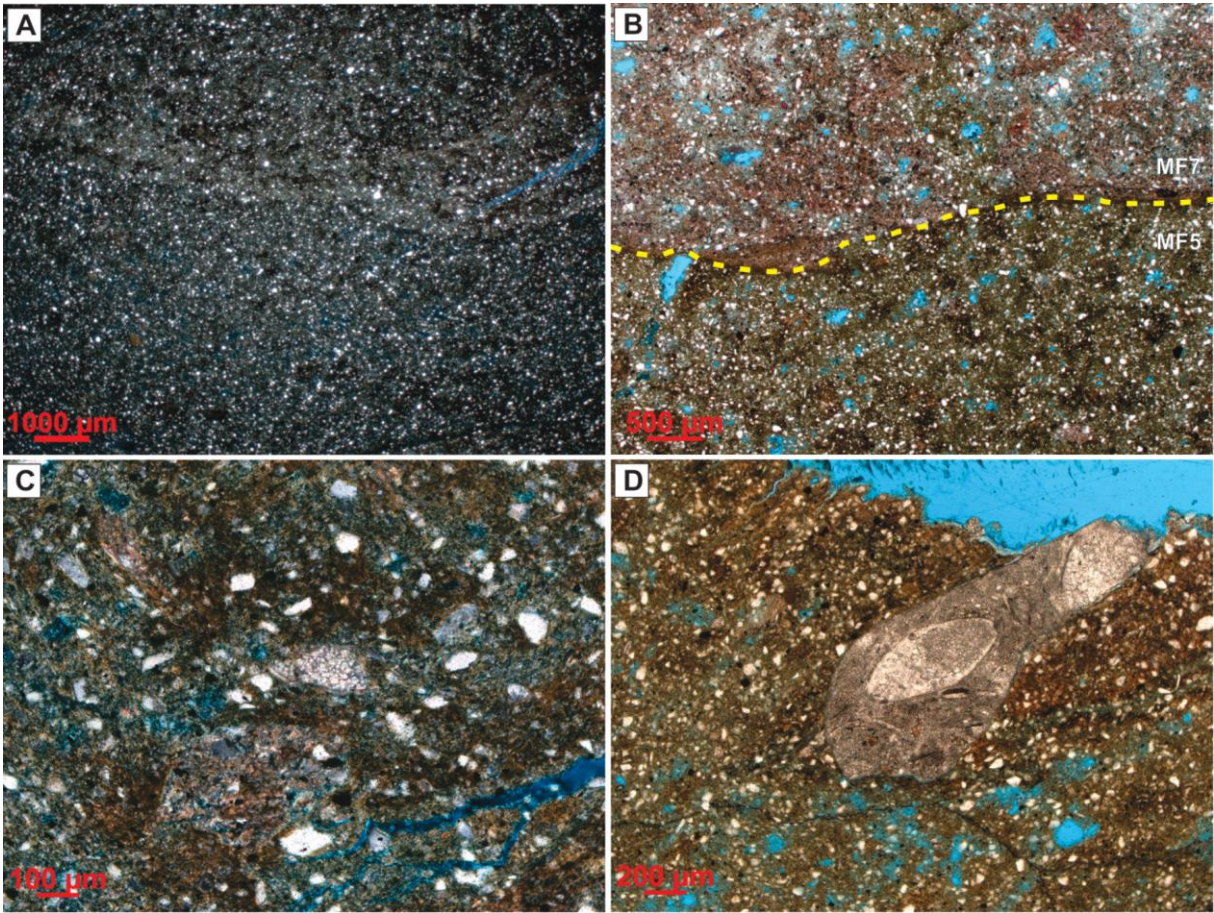
Figura A – Fotomicrografia da MF 5. Lâmina de profundidade 134.17 m (N//, 1.25x). Observar estrutura maciça do siltito.

Figura B – Fotomicrografia da MF 5. Lâmina de profundidade 134.17 m (N//, 2.5x). Observar o contato (tracejado amarelo) entre as microfácies MF 5 e MF 7. Notar a diferença composicional dos argilominerais. Acima, mais avermelhado; abaixo, mais amarronzado.

Figura C – Fotomicrografia da MF 5. Lâmina de profundidade 134.17 m (Nx, 10x). Observar bioclasto recristalizado fragmentado ao centro. Notar fraturas não preenchidas.

Figura D – Fotomicrografia da MF 5. Lâmina de profundidade 134.17 m (N//, 5x). Observar intraclasto de carbonato com ostracode articulado com possível estrutura geopetal.

ESTAMPA XII



4.2.6 Microfácies MF 6 – Siltito verde laminado rico em ostracodes

Diagnose – Siltito argiloso de cor verde apresentando laminação plano-paralela, por vezes ondulada (compactação física), dada por níveis de ostracodes.

Descrição – Sedimentos silticos e argilosos moderadamente a mal selecionados, subangulosos a subarredondados e microtrama caótica. A cor, macroscopicamente, varia entre *light greenish gray* 10Y 7/1 a *greenish gray* 5G_1 6/1. Apresenta laminação plano-paralela dada por níveis ricos em argila e silte e níveis de 2 a 10 mm com concentrações de ostracodes articulados e desarticulados, compactados e recristalizados (Estampa XIII). Esta laminação se apresenta localmente ondulada devido à compactação física. Nos níveis com concentração de ostracodes é possível observar estilolitos e cimentação por calcita, que por vezes se apresenta dissolvida, gerando uma microporosidade intracristalina. Seus grãos de silte e areia muito fina são compostos por quartzo, muscovita, biotita e calcita. Pirita (framboidal e cúbica) e matéria orgânica são encontradas em menores proporções. Observa-se também concreção fosfática, detritos de peixes e 1% de porosidade móldica (visual). Em um determinado intervalo desta microfácies é possível observar a ocorrência de cisalhamento e bioturbação piritizada deformando a estrutura do siltito. Em testemunho, também se observa a ocorrência de gretas de contração, de padrão sinuoso a poligonal, e injectitos (Estampa XIV), compostos por grãos de areia fina à grossa, mal selecionados, de quartzo, muscovita, feldspato, litoclastos de rocha metamórfica e rara biotita, além de cristais de pirita e calcopirita, comumente cimentados por calcita. Ao redor das paredes do injectito é comum observar cimentação carbonática (calcita espática) que substitui o material argiloso pré-existente (Estampa XV). A análise de DRX indica que a fração argila é composta por quartzo, muscovita, k-feldspato (microclina), calcita e argilominerais dos grupos da clorita e illita (Apêndice B).

Interpretação – Decantação de finos e frequentes eventos de mortandade de ostracodes em águas subóxicas, seguido de reorganização biogênica.

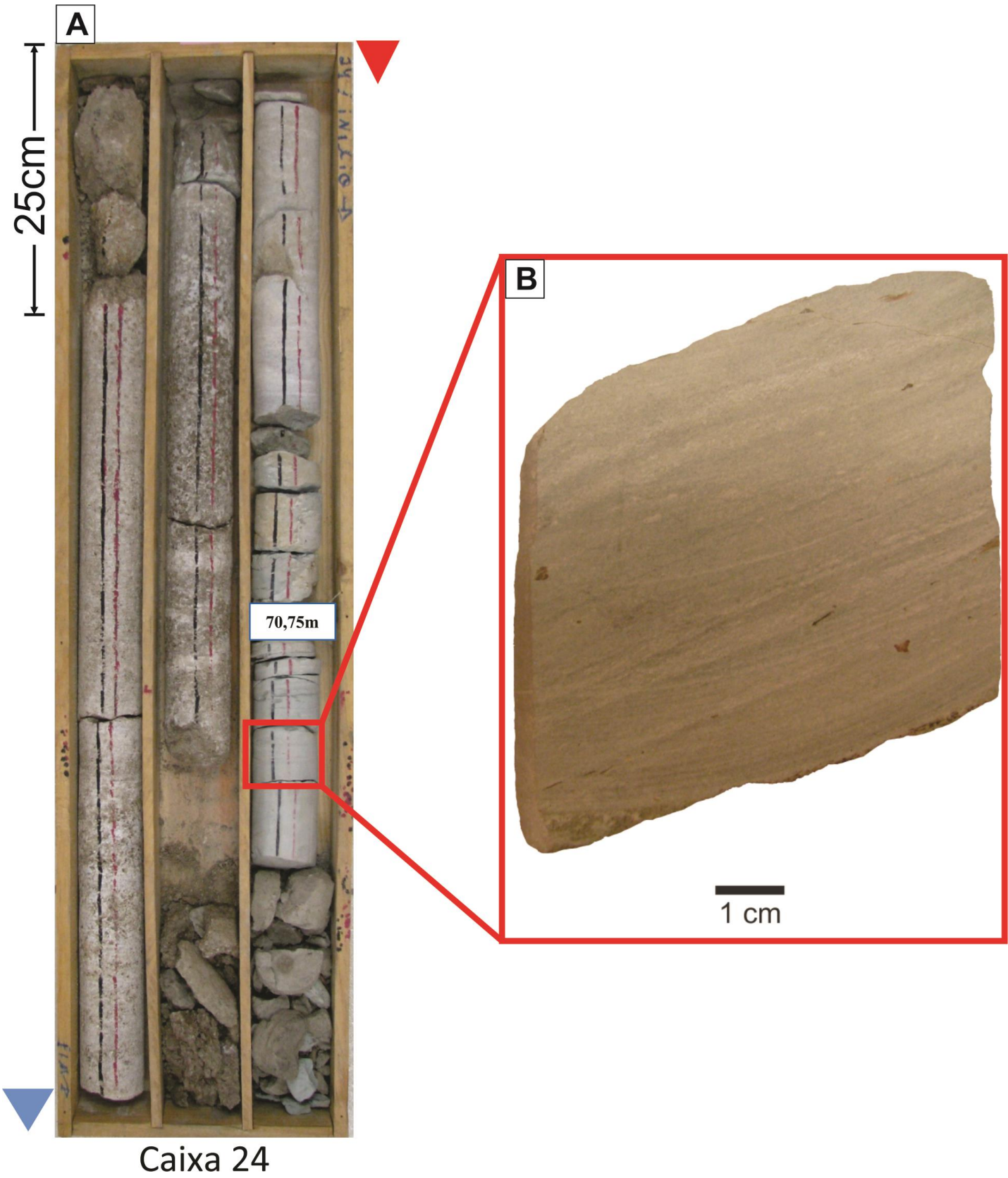
Discussão – Esta microfácies ocorre em pequenos intervalos de aproximadamente 10 cm de espessura, constituindo cerca de 0,7% do testemunho e representando 1,4% do intervalo microclástico estudado, sendo melhor observado na profundidade de 70,95 metros. A cor verde indica que a deposição ocorreu em um ambiente de baixa oxigenação (Eh baixo), no qual não houve preservação (acumulação) de matéria orgânica, evidenciado por valores baixos de COT ($< 1\%$). Valores baixos de RI (Resíduo Insolúvel) indicam alta concentração de carbonatos (Material Solúvel) nesta microfácies, devido à presença de ostracodes e cimentação por calcita. Suas laminações plano-paralelas inclinadas, intercalando argila e silte com níveis de ostracodes, sugerem que esta microfácies foi depositada por decantação de lama com freqüentes eventos de mortandade de ostracodes, causados por quebra da quimioclina/termoclina e mistura de águas óxicas e anóxicas. Em determinado intervalo, esta microfácies sofre reorganização biogênica, evidenciada por tubos de bioturbação piritizada, e tectonismo, evidenciada por cisalhamento, sendo as laminações de ostracodes deformadas por estes eventos (Estampa XV, Figura E). A ocorrência de gretas de contração, interpretadas neste trabalho como gretas de diástase, e injectitos podem estar ligadas a estes eventos de tectonismo no lago.

ESTAMPA XIII

Figura A – Caixa de número 24 descrita no testemunho, mostrando intervalos de coquinas com aspecto sujo (óleo) e siltito esverdeado. Seta vermelha indica o topo e seta azul indica a base da camada.

Figura B – Foto de detalhe em intervalo de aproximadamente 70,95 m de profundidade. Observar a laminação plano-paralela levemente inclinada dada pelos níveis ricos em ostracodes, característica desta microfácies.

ESTAMPA XIII



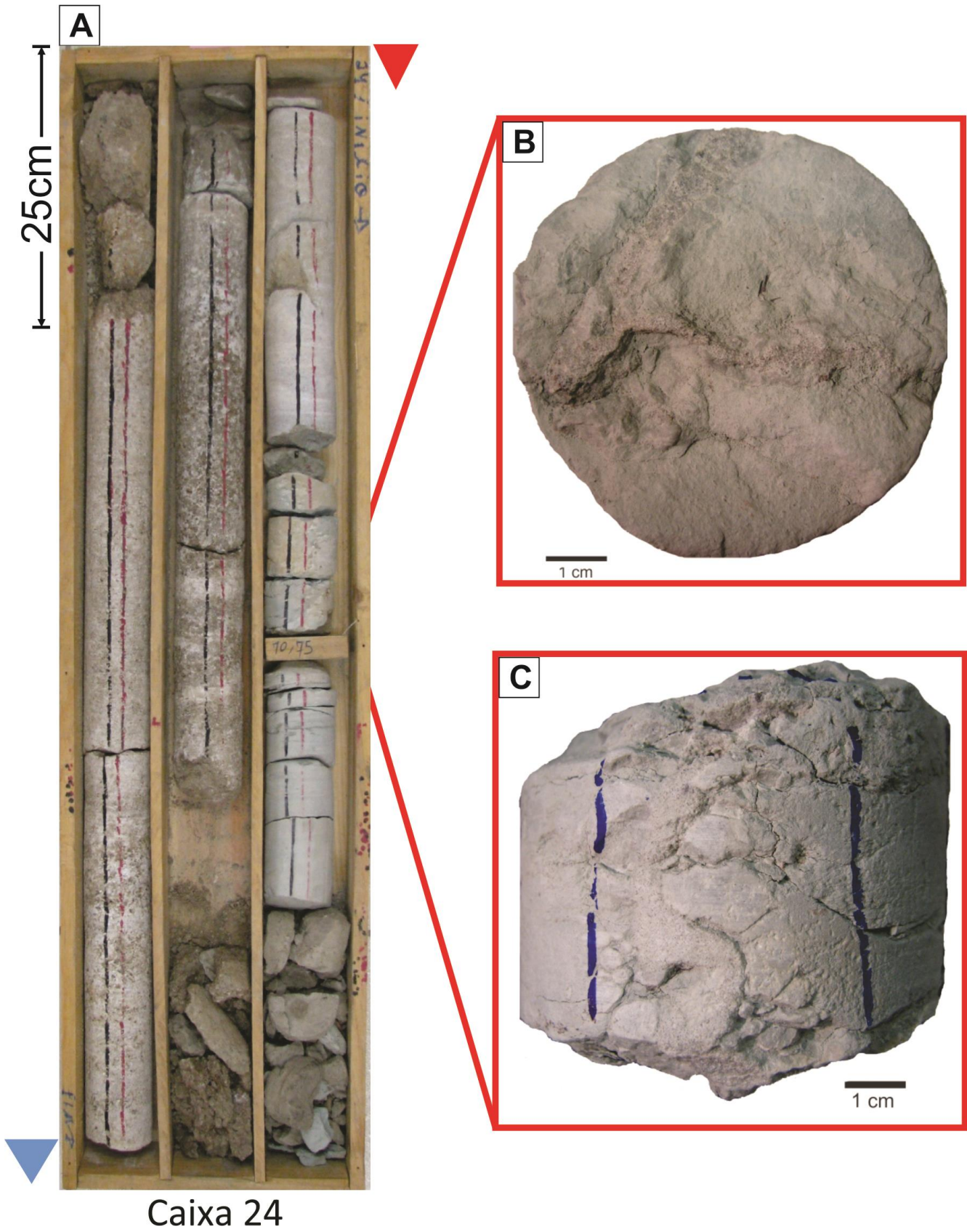
ESTAMPA XIV

Figura A – Caixa de número 24 descrito no testemunho. Seta vermelha indica o topo e seta azul indica a base da camada.

Figura B – Foto de detalhe em intervalo de aproximadamente 70,75 m de profundidade. Caneta azul marca a amostra para laminação. Foto do topo da amostra (C), mostrando greta de diástase, anteriormente descrita por TEIXEIRA (2012). Notar o padrão ortogonal.

Figura C – Foto de detalhe, no mesmo intervalo, de injectito preenchido por areia fina a média (tracejado amarelo). Observar a presença de concreção carbonática (tracejado vermelho) ao redor do injectito.

ESTAMPA XIV



ESTAMPA XV

Figura A – Fotomicrografia da MF 6. Lâmina de profundidade 70,95 m (N//, 2.5x). Observar laminação plano-paralela (levemente inclinada) e presença de estilolito (seta amarela) na lâmina rica em ostracodes. Notar também a presença de ostracodes articulados, recristalizados (N//, 2.5x).

Figura B – Fotomicrografia da MF 6. Lâmina de profundidade 70,95 m (Nx, 5x). Observar ostracodes compactados e cimentados por calcita espática.

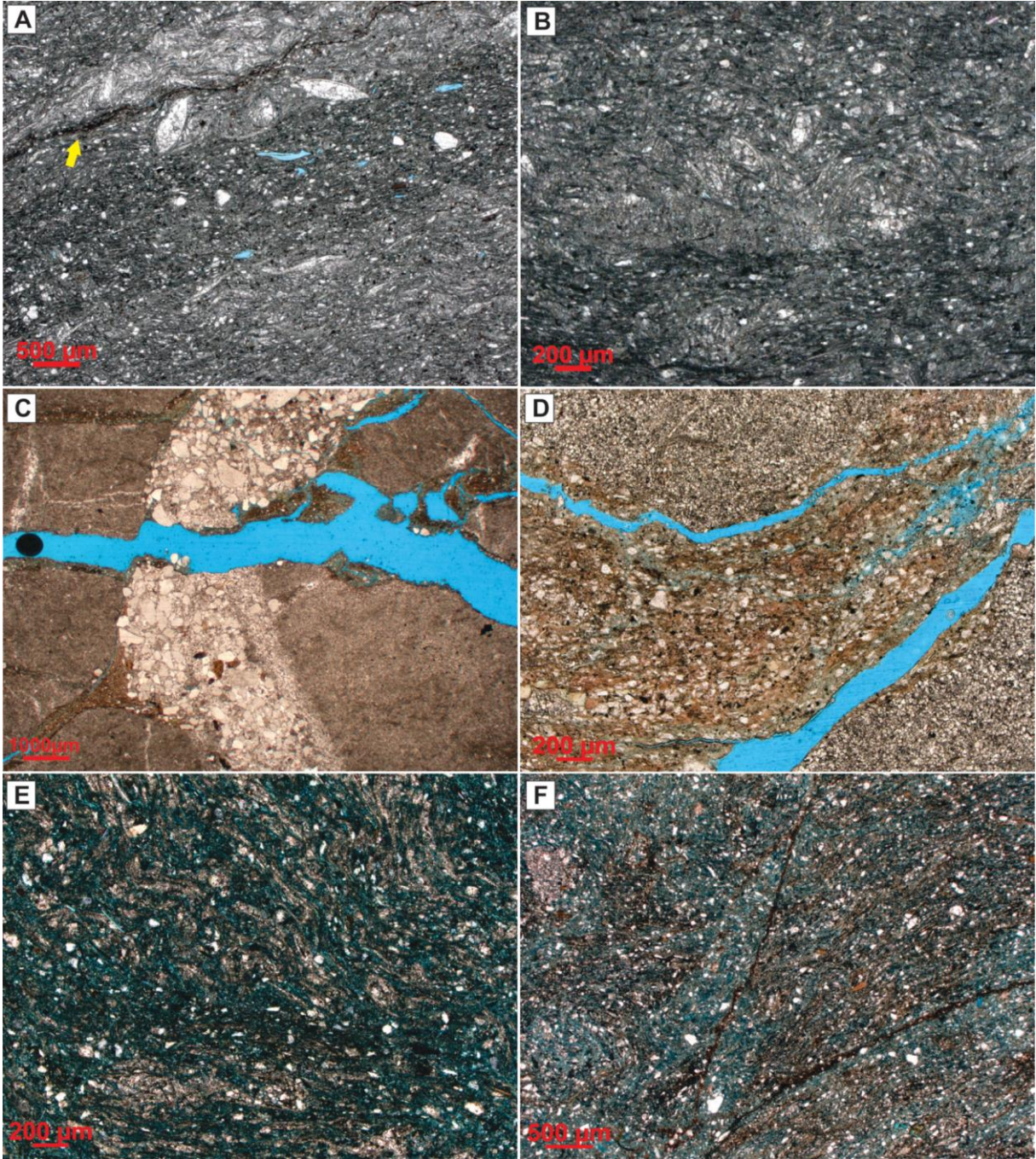
Figura C – Fotomicrografia da MF 6. Lâmina de profundidade 70,75 m (N//, 1.25x). Observar injectito ao centro, preenchido por areia fina à grossa, com cimentação de calcita espática ao redor. Notar conteúdo argiloso indicado pela seta amarela.

Figura D – Fotomicrografia da MF 6. Lâmina de profundidade 70,75 m (N//, 5x). Observar lama residual ao centro, anterior à cimentação ocorrida.

Figura E – Fotomicrografia da MF 6. Lâmina de profundidade 99,75 m (Nx, 5x). Observar lâminas onduladas de ostracodes desarticulados e compactados.

Figura F – Fotomicrografia da MF 6. Lâmina de profundidade 99,75 m (N//, 2.5x). Observar cisalhamento ao centro da lâmina. Notar laminações deformadas à direita da falha.

ESTAMPA XV



4.2.7 Microfácies MF 7 – Siltito verde maciço

Diagnose – Siltito argiloso de cor verde apresentando estrutura maciça.

Descrição – Sedimentos sílticos e argilosos bem selecionados, subarredondados, microtrama orientada a variável e comumente apresentando lente de silte/areia muito fina (variando entre 1 e 2 cm) com base erosiva e gradação normal. Na descrição macroscópica, sua cor é definida como light greenish gray 5G_1 7/1. Esta microfácies apresenta estrutura maciça. A composição de seus grãos de silte e areia muito fina é predominantemente quartzosa, e secundariamente composta por muscovita, biotita, calcita, k-feldspato e zircão como elemento traço. Pirita framboidal e nódulos carbonáticos são comuns. Observam-se detritos de peixes e fragmentos fosfáticos, que por vezes se apresentam parcial ou inteiramente dissolvidos, dando uma porosidade móldica. Observa-se também porosidade intragranular. Localmente nesta microfácies ocorre tubo de bioturbação preenchido por pirita. Neste mesmo intervalo, há bioclastos (recristalizados) fragmentados e intraclastos de argila. Em testemunho, observa-se que a lente de silte/areia muito fina apresenta falha normal (Estampa XVI). Em lâmina, a falha pôde ser observada também na estrutura maciça do siltito (Estampa XVII). A análise de DRX desta microfácies indica que a fração argila é composta por quartzo, muscovita, k-feldspato (microclina), e argilominerais do grupo da caolinita, clorita e illita (Apêndice B).

Interpretação – Decantação de finos em águas subóxicas, sob influência de fluxos trativos unidirecionais em regime inferior, seguido de reorganização biogênica.

Discussão – Esta microfácies constitui cerca de 0,6% do testemunho e 1,2% do intervalo microclástico estudado, sendo melhor representado na profundidade de aproximadamente 105 metros. A cor verde, os valores baixos de COT (< 1%) e a preservação de fósseis sugerem um ambiente de baixa oxigenação (Eh baixo), mas a ocorrência de

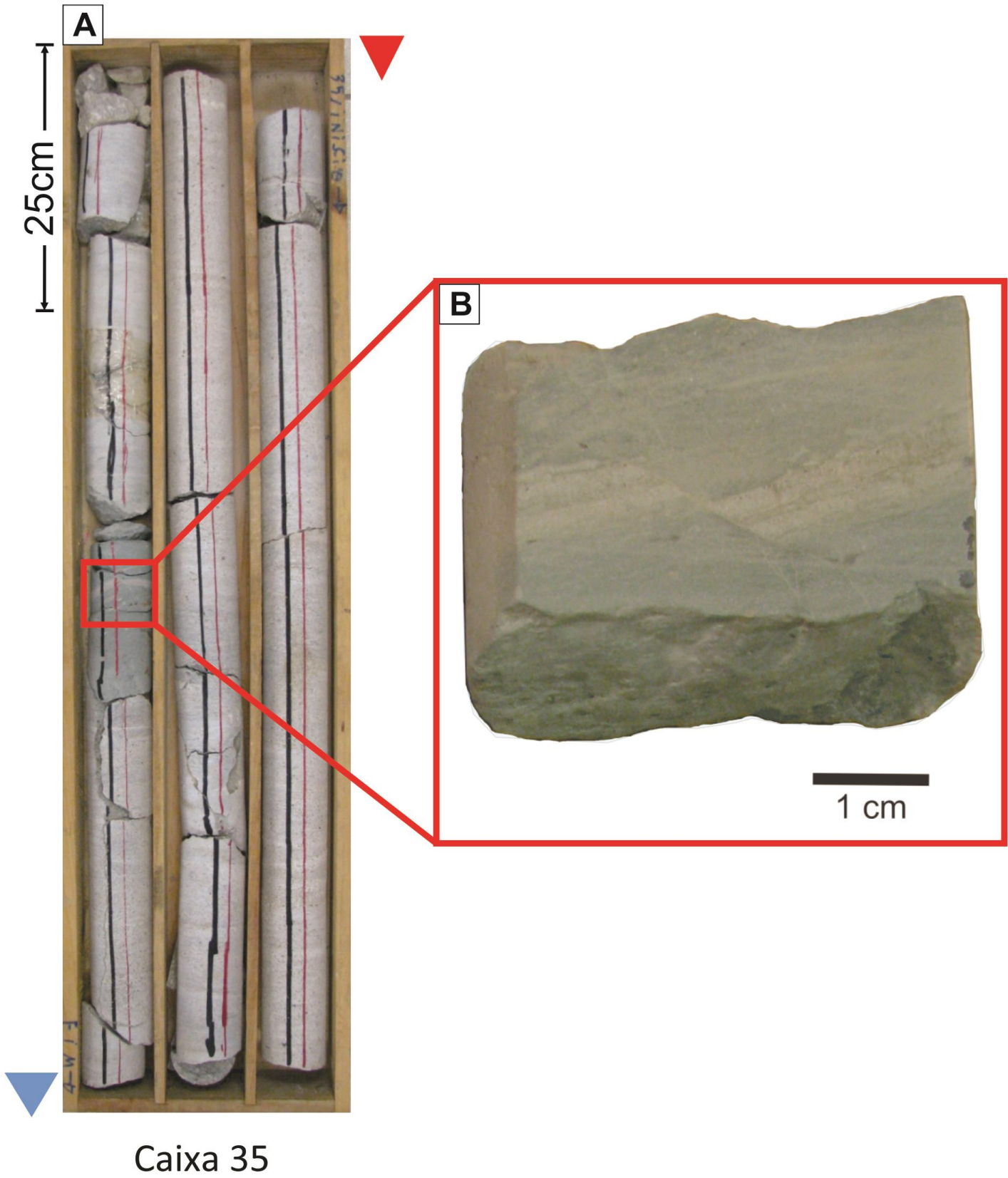
bioturbação indica que a condição de Eh não foi tão baixa quanto nas microfácies MF 1 e MF 2. A estrutura maciça sugere uma deposição por decantação em ambiente de baixa energia, mas a ocorrência de lentes de silte/areia muito fina com base erosiva e gradação normal indica que este ambiente sofria influência de fluxos trativos (hipo- e hiperpicnais) distais. Isto fica melhor evidenciado no contato com a microfácies MF 5, como pôde ser visto na Figura 27. Esta microfácies também apresenta falhas que evidenciam o tectonismo na bacia.

ESTAMPA XVI

Figura A – Caixa de número 35 descrito no testemunho, mostrando coquinas com intervalo centimétrico de siltito esverdeado. Seta vermelha indica o topo e seta azul indica a base da camada.

Figura B – Foto de detalhe em intervalo de aproximadamente 105,67 m de profundidade. Observar falha normal na lente de silte/areia muito fina, comum nesta microfácies.

ESTAMPA XVI



ESTAMPA XVII

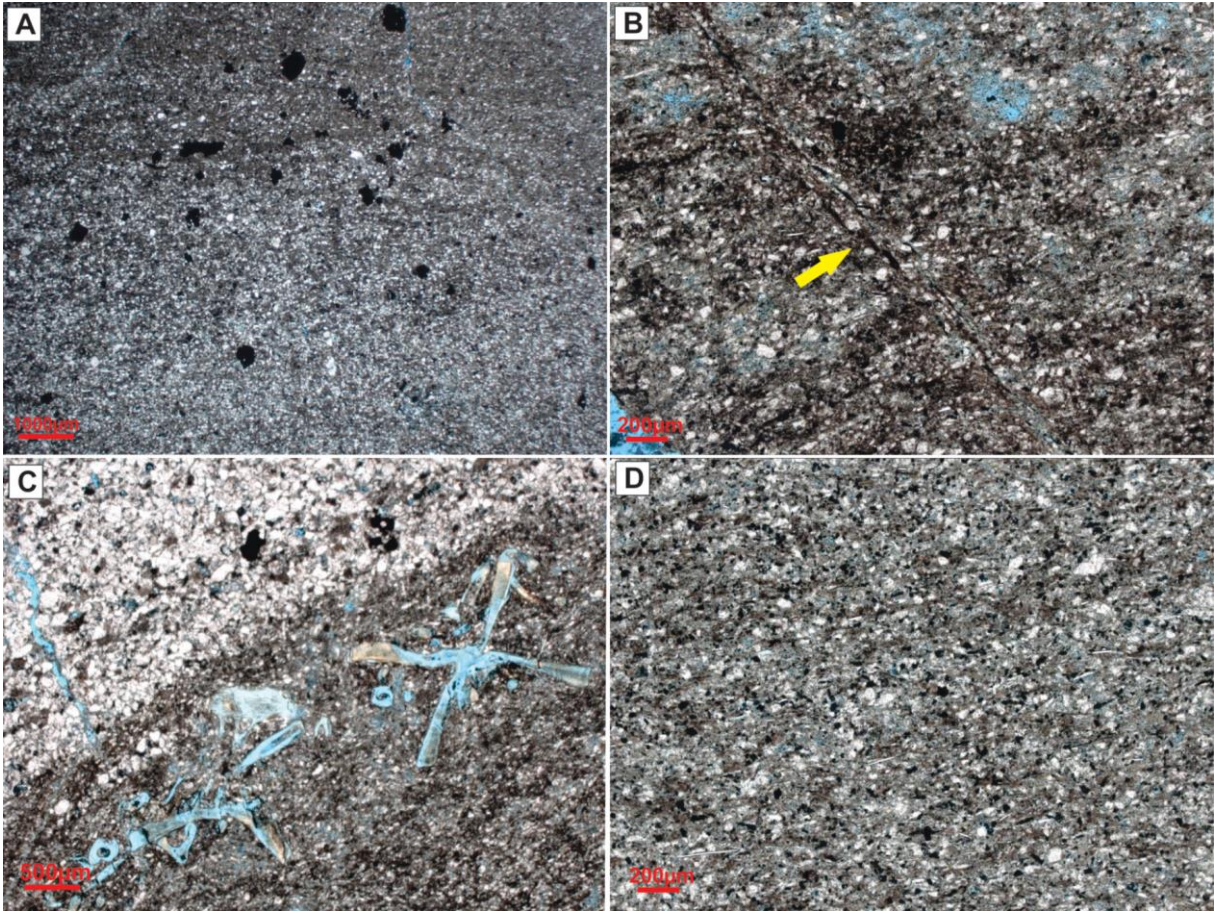
Figura A – Fotomicrografia da MF 7. Lâmina de profundidade 46,30 m (N//, 1.25x0. Observar gradação normal. Notar a presença de concreções piritosas.

Figura B – Fotomicrografia da MF 7. Lâmina de profundidade 105,67 m (N//, 5x). Observar microfalha indicada pela seta amarela.

Figura C – Fotomicrografia da MF 7. Lâmina de profundidade 105,67 m (N//, 2.5x). Observar a base erosiva da lente de areia muito fina e fragmentos fosfáticos parcialmente dissolvidos.

Figura D – Fotomicrografia da MF 7. Lâmina de profundidade 87,85 m (N//, 5x). Observar a estrutura maciça da microfácies, pirita framboidais e microtrama orientada a variável evidenciada pelas micas.

ESTAMPA XVII



4.2.8 Microfácies MF 8 – Siltito bioturbado com intraclastos de argila

Diagnose – Siltito com intraclastos de argila apresentando bioturbação piritizada.

Descrição – Siltito mal selecionado, subarredondado, microtrama caótica, apresentando bioturbação piritizada e intraclastos de argila. Sua cor, macroscopicamente, é definida como *greenish gray* 5GY 6/1. Os grãos de silte e areia muito fina são compostos predominantemente por quartzo e muscovita, e secundariamente por feldspato e biotita. Pirita framboidal, intraclastos de argila e valvas de ostracodes são comuns. Os intraclastos se apresentam alongados em um eixo principal e por vezes esmagados. Valvas de ostracodes são comumente substituídas por pirita e nódulos fosfáticos são encontrados. Esta microfácies apresenta tubo de bioturbação preenchido por material mais grosso e pirita framboidal. Em testemunho, observa-se gradação normal, mas não foi possível observar em lâmina. Não são encontrados detritos de peixes. A camada é centimétrica e associada à fácies Fv à microfácies MF 1.

Interpretação – Resulta de fluxos trativos, seguido de reorganização biogênica.

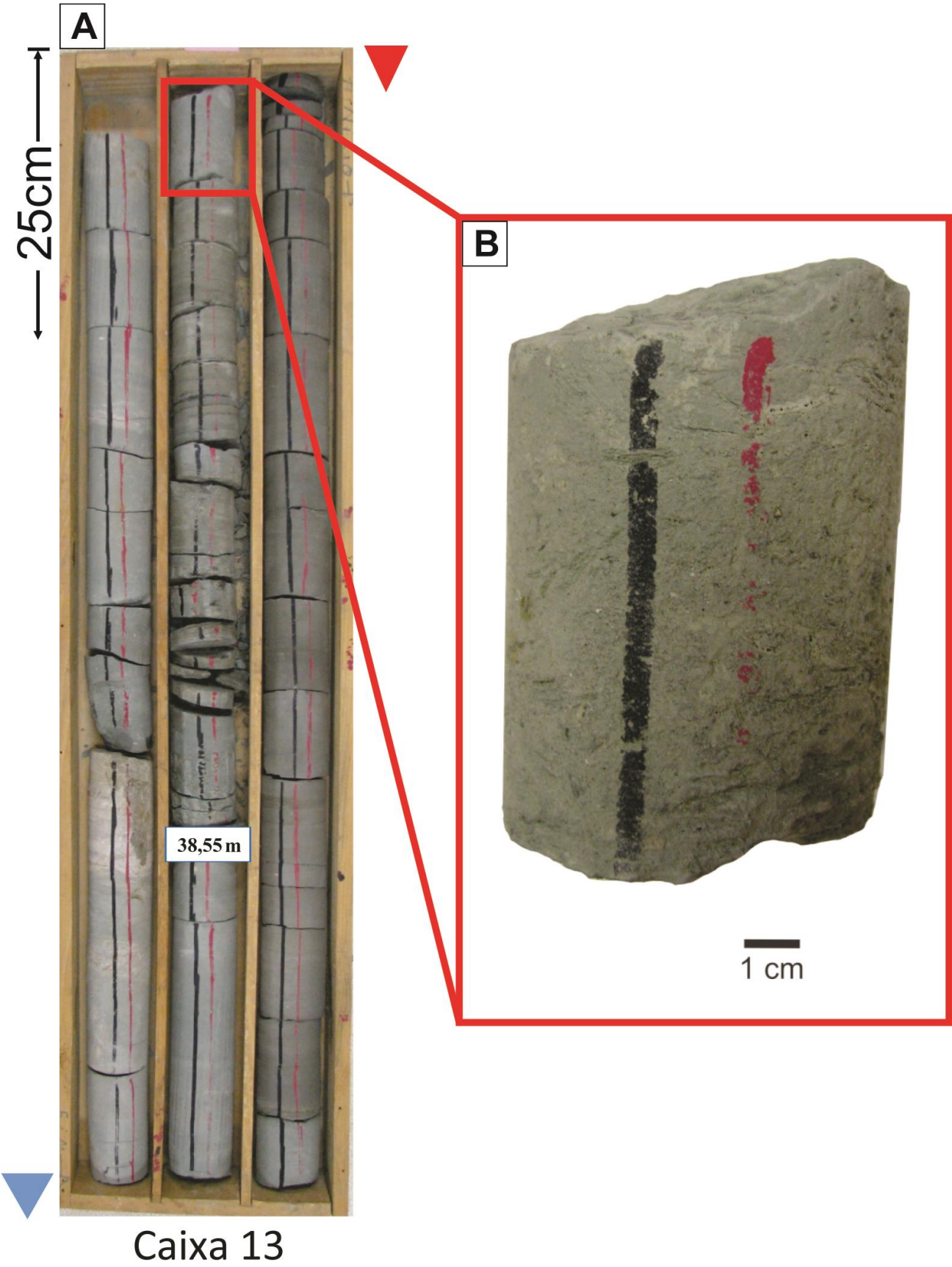
Discussão – Esta microfácies ocorre apenas entre as profundidades 37,80 e 38,00 metros, constituindo cerca de 0,1% do testemunho e 0,3% do intervalo microclástico estudado, e está associada à microfácies MF 1 (Estampa XIII). A alta porcentagem de pirita framboidal e a presença de tubo de bioturbação piritizada sugerem uma reelaboração biogênica em lama em um ambiente de águas óxicas/subóxicas (Estampa XIX). Os intraclastos de argila podem representar remobilização do substrato por fluxos trativos decorrentes de evento episódico de tempestade.

ESTAMPA XVIII

Figura A – Caixa de número 13 descrito no testemunho, mostrando intervalos de argilitos esverdeados, intercalados com siltito e calcário, e folhelhos escuros. Seta vermelha indica o topo e seta azul indica a base da camada.

Figura B – Foto de detalhe em intervalo de aproximadamente 37,85 m de profundidade. Siltito bioturbado com intraclastos de argila, mal selecionado, apresentando gradação normal.

ESTAMPA XVIII



ESTAMPA XIX

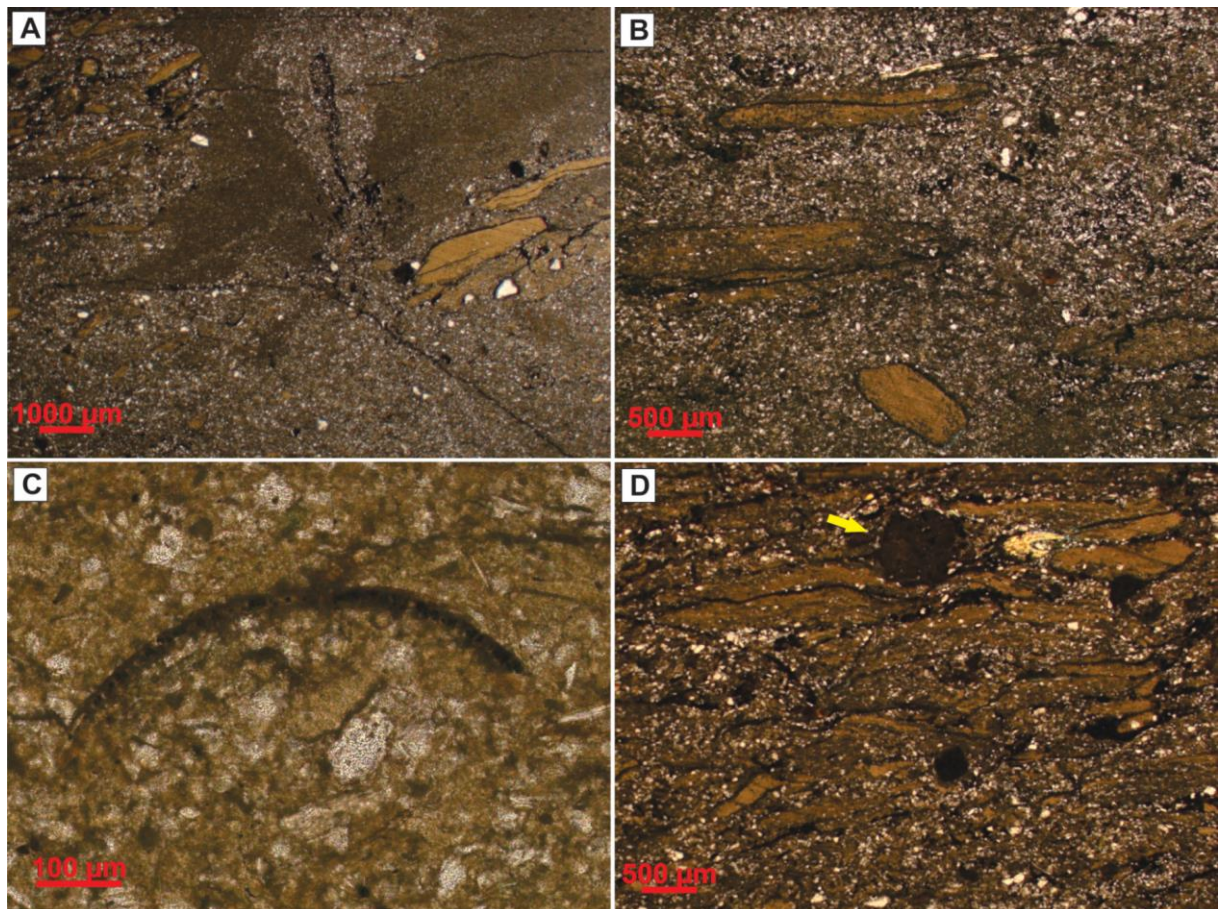
Figura A – Fotomicrografia da MF 8. Lâmina de profundidade 37,85 m (N//, 1.25x). Observar tubo de bioturbação preenchido por material mais grosso e pirita.

Figura B – Fotomicrografia da MF 8. Lâmina de profundidade 37,85 m (N//, 2.5x). Observar intraclastos de argila alongados em um eixo principal.

Figura C – Fotomicrografia da MF 8. Lâmina de profundidade 37,85 m (N//, 20x). Notar a piritização da valva de ostracode.

Figura D – Fotomicrografia da MF 8. Lâmina de profundidade 37,85 m (N//, 2.5x). Observar intraclastos de argila esmagados e nódulo fosfático (seta amarela). Notar a grande quantidade de pirita.

ESTAMPA XIX



4.2.9 Microfácies MF 9 – Arenito com gradação inversa

Diagnose – Arenito fino a grosso apresentando gradação inversa.

Descrição – Arenito fino a grosso mal selecionado, anguloso a subarredondado, com contato basal erosivo e apresentando gradação inversa. Sua cor é definida como *light greenish gray* (5GY 7/1) nos testemunhos. Seus grãos são compostos por quartzo monocristalino, k-feldspato, plagioclásio, litoclastos de rochas vulcânicas e metamórficas, muscovita, calcita e biotita, e cristais de pirita como elementos traço, além de intraclastos de argila e valvas de ostracodes. Esta microfácies apresenta cimentação carbonática por calcita (espática e, por vezes, microcristalina). Observa-se gradação inversa em suas camadas de espessura variando entre 0.6 e 0.8 cm, com granulometria gradando de silte/areia muito fina (moda) à areia grossa. A porosidade (móldica e vugular) é baixa, em torno de 1% (visual). Em testemunho, é possível observar camada lenticular de argila esmagada pela sobrecarga dos grãos de areia.

Interpretação – Resulta de fluxos unidirecionais trativos.

Discussão – Esta microfácies ocorre apenas nas profundidades mais rasas do testemunho, constituindo cerca de 0,1% deste e representando 0,3% do intervalo microclástico estudado, e está melhor representada na profundidade de aproximadamente 20 metros (Estampa I). O contato basal erosivo, a composição e tamanho dos grãos e a gradação inversa representativa desta microfácies (Estampa XX) sugerem que a deposição ocorreu por fluxos unidirecionais trativos em um ambiente proximal. A cimentação carbonática e porosidade (móldica e vugular) indicam que ocorreu diagênese inicial nestes arenitos.

ESTAMPA XX

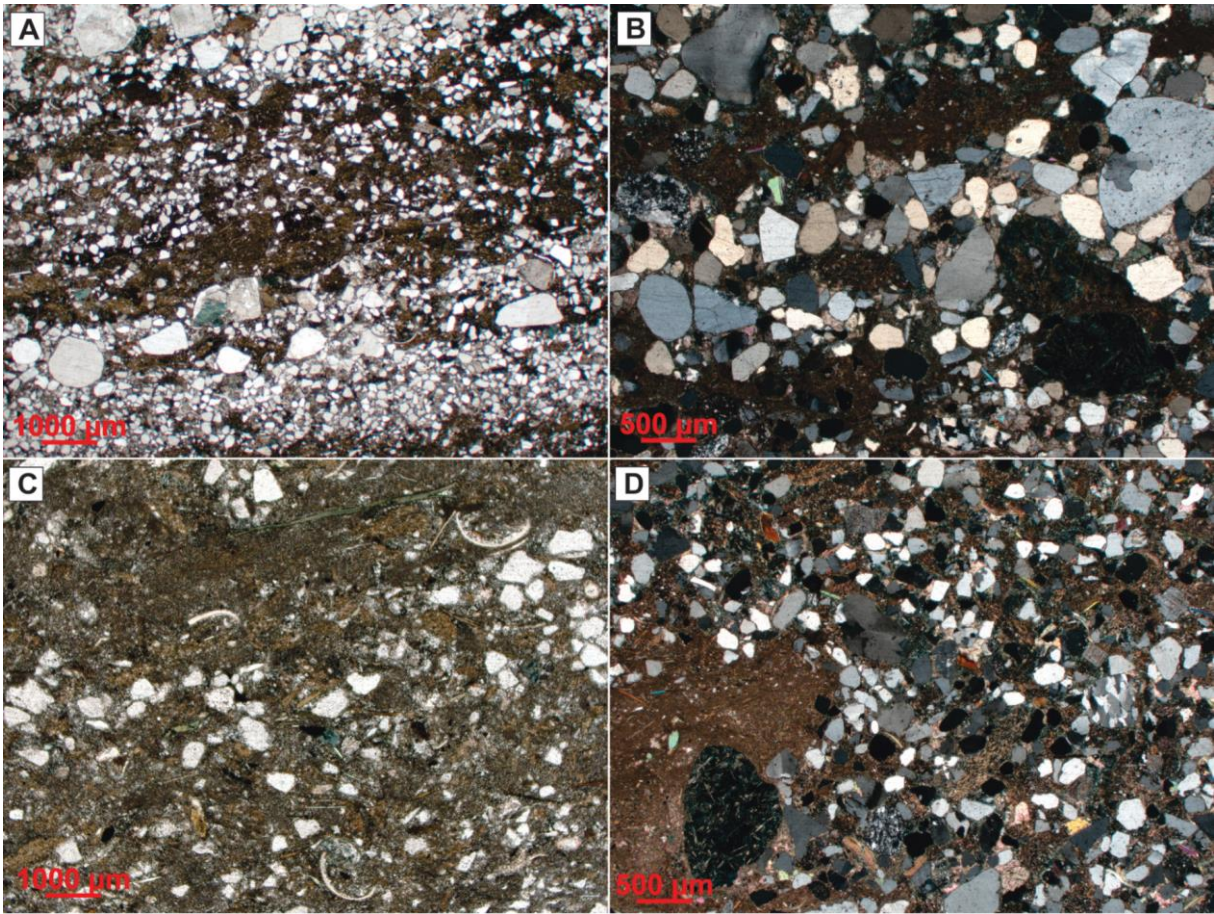
Figura A – Fotomicrografia da MF 9. Lâmina de profundidade 20,17 m (N//, 1.25x). Observar gradação inversa de silte/areia muito fina a areia grossa.

Figura B – Fotomicrografia da MF 9. Lâmina de profundidade 20,17m (Nx, 2.5x). Observar grãos de quartzo monocristalino, por vezes com extinção ondulada, e feldspatos. Notar grãos subangulosos a subarredondados.

Figura C – Fotomicrografia da MF 9. Lâmina de profundidade 20,17m (N//, 1.25x). Observar valvas de ostracodes na matriz e cimentação espática.

Figura D – Fotomicrografia da MF 9. Lâmina de profundidade 20,17m (Nx, 2.5x). Observar litoclasto de rocha vulcânica no canto esquerdo. Notar a textura mal selecionado do arenito.

ESTAMPA XX



4.3 Carbono Orgânico Total (COT) e Enxofre Total (S)

As análises geoquímicas foram realizadas em 33 amostras de folhelhos. Os valores obtidos de COT (%), Enxofre Total (%) e Resíduo Insolúvel (%) estão representados versus profundidade nos gráficos a seguir (Figura 15).

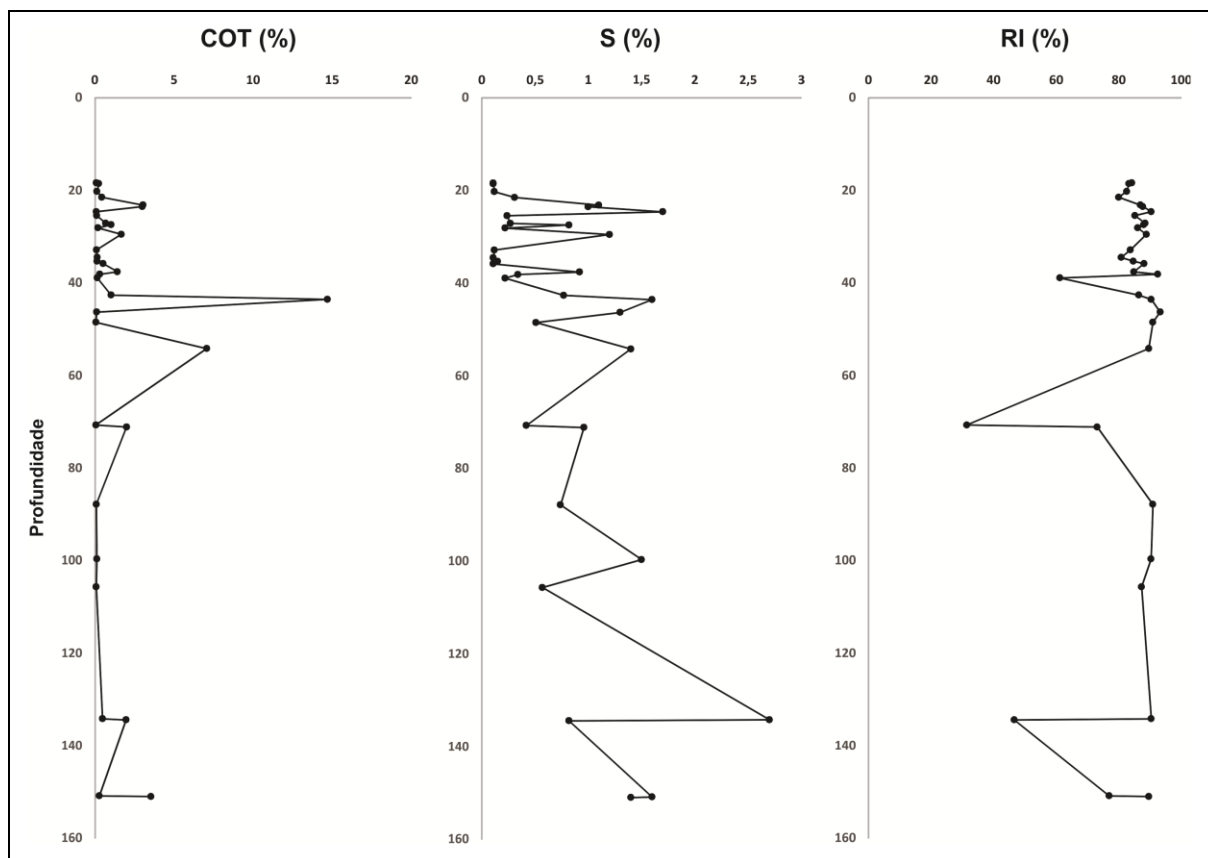


Figura 15 - Valores de COT (%), Enxofre Total (%) e Resíduo Insolúvel (%) versus profundidade das amostras analisadas.

Segundo Leventhal (1982), existe uma relação linear entre as quantidades de carbono orgânico e enxofre (na forma de sulfeto) em sedimentos depositados em ambientes marinhos normais, e isto se deve ao fato da oxidação da matéria orgânica ocorrer em concomitância com a redução do sulfato (SO_4) por ação bacteriana – isto induz a uma quantidade proporcional de sulfetos e de carbono residual. Berner & Raiswell (1984) argumentam que a relação C/S pode ser usada para diferenciar sedimentos depositados em ambiente marinho e

ambiente de água doce, devido a limitação do enxofre em ambiente lacustre, o que ocasiona o aumento dos valores do índice C/S. Leventhal (1982) utiliza o *plot* C vs. S para definir um campo de "euxinia" (condições anóxicas e sulfídicas do oceano) com a relação S/C e interceptação positiva de S. A partir disto, utilizou-se o *plot* C vs. S, retirado de Leventhal (1995), para extrair informações sobre paleossalinidade e condições anóxicas/óxicas do ambiente de deposição de cada microfácies (Figura 16).

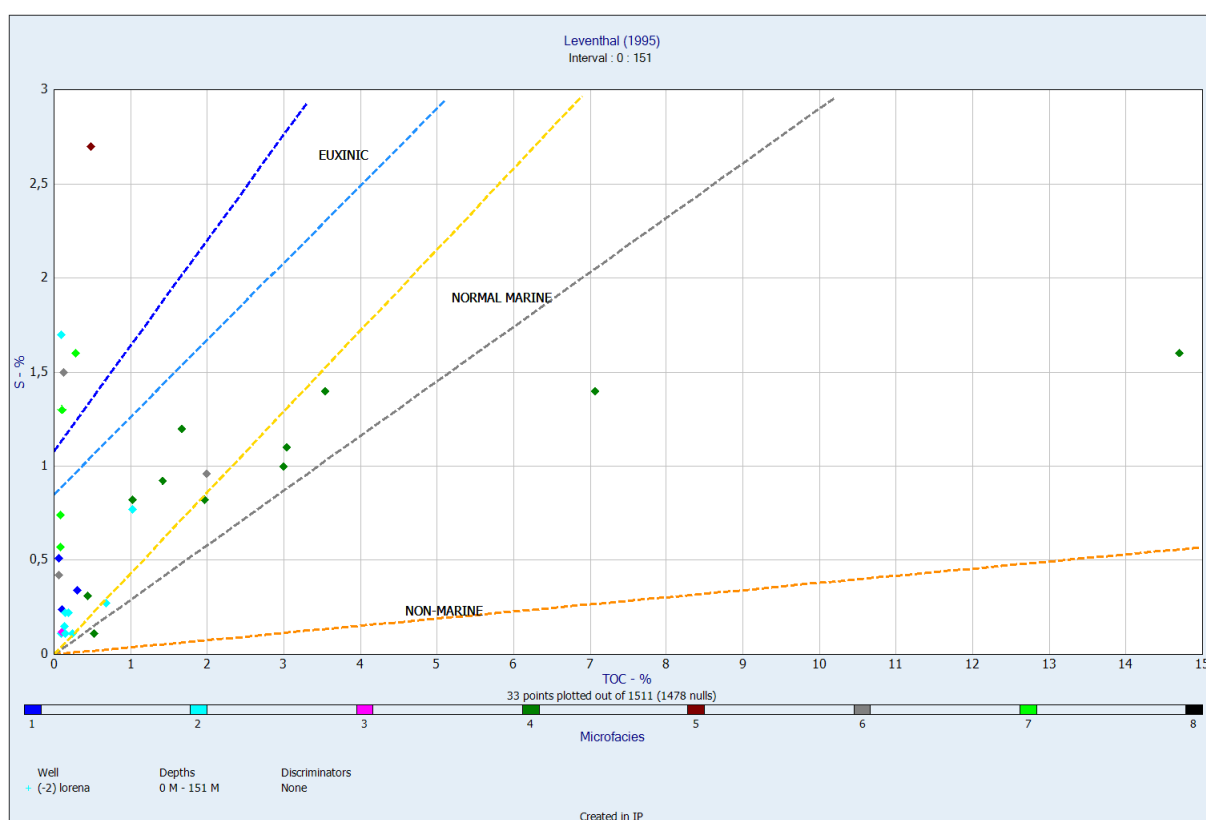


Figura 86 - Teores de Enxofre Total (%) versus COT (%) das amostras analisadas (Leventhal, 1995), de acordo com as microfácies definidas neste trabalho.

4.4 Análise integrada de perfis geofísicos de poço e dados geoquímicos

A análise dos perfis geofísicos de Raios-Gama e *Caliper*, em comparação com os dados de Carbono Orgânico Total (COT), foi correlacionada com os perfis litológicos do poço e dos intervalos siliciclásticos, em escala 1:150 (A), como apresentado na Estampa XXI. Também foi gerado um perfil de microfácies (B). Para integrar à interpretação dos folhelhos na sequência de coquinas depositadas, fez-se necessário obter informações sobre a descrição destas no poço estudado. Como o foco deste trabalho é apenas nos intervalos microclásticos, utilizou-se o modelo de tafofacies proposto por Muniz & Bosence (2011) para a Bacia de Campos, utilizado posteriormente por Tavares *et al.* (2015) para a Formação Morro do Chaves, na mina CIMPOR. Tavares *et al.* (2015) descreve suas fácies de acordo com dois fatores principais: tafonomia (fragmentação das conchas) e composição (presença de micrita e grãos siliciclásticos). Neste trabalho, apenas a informação sobre a tafonomia das coquinas auxilia na contextualização deposicional dos folhelhos estudados. Esta foi retirada da descrição litológica dos testemunhos, feito por geólogos do Projeto SACL, e adicionada à Estampa XXI.

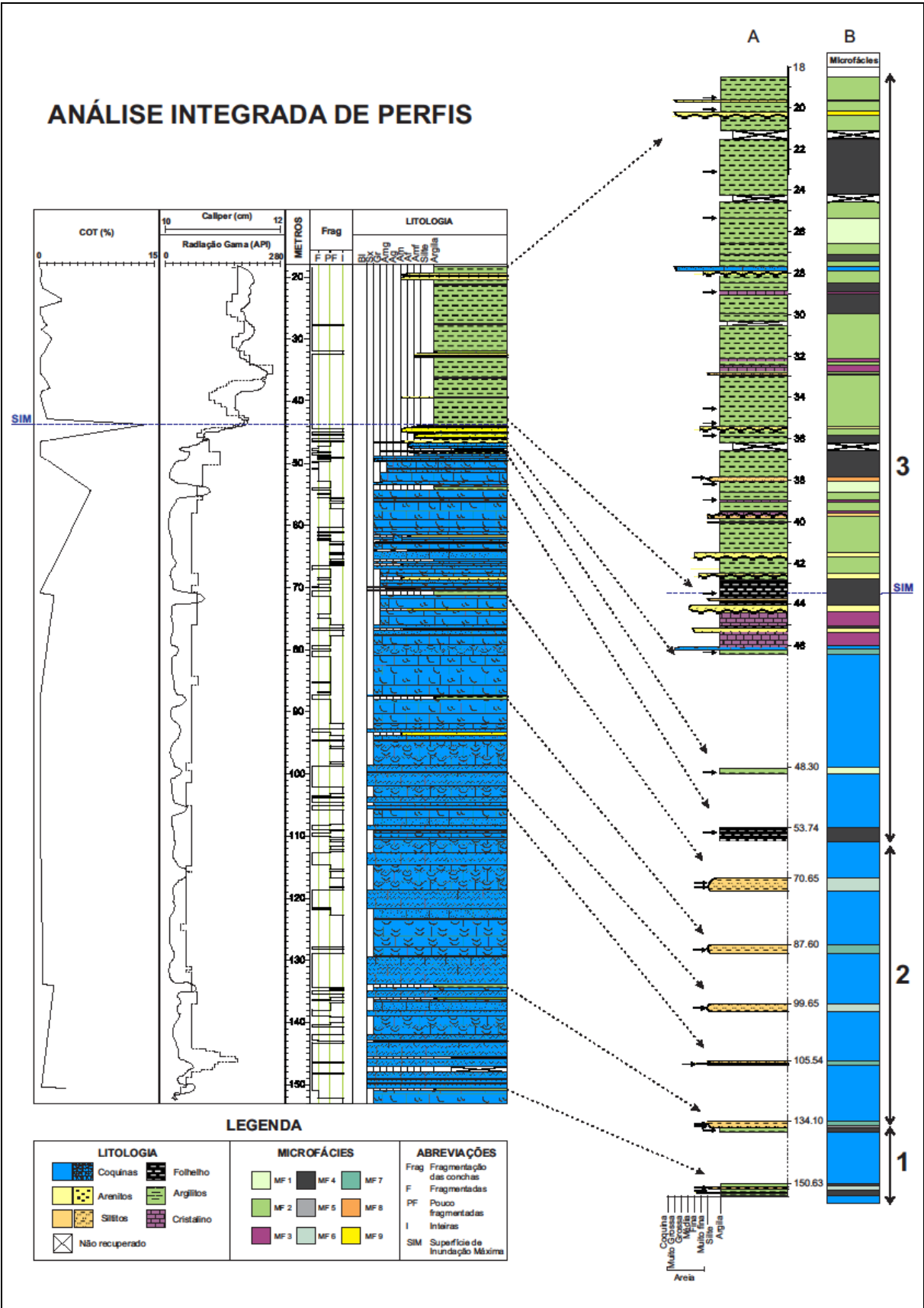
O perfil *Caliper* nos mostra que a estrutura interna do poço no topo do perfil apresenta maior desmoronamento vinculado aos intervalos argilosos, principalmente onde encontramos os maiores valores de raios gama. Este comportamento pode estar associado ao fato destes intervalos apresentarem maiores fissilidades com maiores teores de matéria orgânica. No decorrer da leitura do perfil, em direção à base, o perfil *Caliper* não apresenta grandes valores de arrombamentos. Observando os perfis de COT e Raios-Gama é possível concluir que os maiores valores de COT correspondem aos valores mais altos de radioatividade no perfil de Raios-Gama. Na profundidade de aproximadamente 44,00 m é identificado possível Superfície de Inundação Máxima (SIM), devido a deposição de folhelhos escuros (MF 4),

com alto valor de COT e altos valores de radioatividade associados, representando afogamento e interrompimento da sequência de coquinas. Através do *log* de fragmentação das conchas, nota-se que as coquinas que antecedem os folhelhos apresentam, predominantemente, conchas inteiras ou pouco fragmentadas. É possível observar, também, que o final da sequência carbonática, próximo à SIM, é representado por coquinas compostas por conchas fragmentadas.

ESTAMPA XXI

Figura 14 – Análise integrada de perfis geofísicos de poço (Raios-Gama e *Caliper*) e geoquímico orgânico (COT), correlacionando com perfil litológico dos testemunhos contínuos estudados. Os intervalos siliciclásticos são descritos em maior detalhe (A), em escala 1:150. Setas pretas indicam pontos de coleta para confecção de lâminas. A partir destas informações, gera-se um perfil de microfácies (B).

ESTAMPA XXI



5 DISCUSSÃO

Como vimos no Subcapítulo 3.3.1, existem diversos modelos paleoambientais propostos na literatura para a Formação Morro do Chaves. Neste trabalho, o modelo paleoambiental utilizado para o testemunho estudado é o proposto por Figueiredo (1981) e, posteriormente, adaptado por Teixeira (2012) para a mina CIMPOR. As coquinas da Formação Morro do Chaves são o registro de antigas praias e plataformas carbonáticas, depositadas em regiões rasas e elevadas de um grande lago de rifte, onde havia pouco aporte de sedimentos terrígenos e condições de alta energia (Figueiredo, 1981).

Teixeira (2012) discute a influência da tectônica e do clima sobre a sedimentação, já que estes estão relacionados ao nível relativo do lago e ao aporte de terrígenos. Este autor afirma que períodos de atividade tectônica intensa e/ou clima úmido aumentam a taxa de erosão/intemperismo e a influência fluvial, aumentando, consequentemente, o aporte de terrígenos no lago. Com isso, períodos em que não há atividade tectônica e/ou clima árido diminuem a taxa de erosão/intemperismo e a influência fluvial, causando uma diminuição do aporte de terrígenos e favorecendo o estabelecimento de plataformas e praias bioclásticas.

Neste trabalho, nota-se que as microfácies mostram-se essencialmente silticas-argilosas, ricas em sedimentos terrígenos, e não são caracterizadas como *mudstones*, como Figueiredo (1989) se refere.

A MF 1 (Argilito verde laminado) representa a alternância de decantação de argila com fluxos trativos do tipo hipo- e hiperpicnais, carregando sedimentos mais grossos para a parte distal do lago, em um ambiente óxico/disóxico (acima da quimioclina/termoclina). As falhas que deslocam as laminações desta microfácies são interpretadas como decorrentes de eventos tectônicos posteriores à sua deposição. A concreção de pirita deformando as laminações pode indicar diagênese inicial (Tucker, 2001).

A MF 2 (Argilito verde maciço) representa decantação de lama em um ambiente de baixa energia, em águas subóxicas (acima da quimioclina/termoclina), que sofria influência de fluxos turbulentos de baixa densidade. Estes fluxos carregam sedimentos arenosos para a porção distal do lago, e a presença de microestruturas de carga e chama nestes intervalos indicam que as camadas argilosas sotopostas estavam saturadas em água, constituindo um substrato lamoso (*soupygrond*) (Schieber, 2007b). Injectitos são comuns nestes argilitos, sugerindo evento tectônico na bacia.

A MF 3 representa processos diagenéticos que ocorreram em argilitos e siltitos. Esses processos são resultados da percolação de fluidos carbonáticos através de fraturas causadas pela intrusão dos injectitos e por entre os poros das areias dos mesmos.

A MF 4 (Folhelho preto laminado) representa decantação de lama com pequenos eventos de mortandade de ostracodes, em um ambiente de baixa energia. Em determinado momento, este ambiente sofre influência de fluxos trativos unidirecionais (corrente) em regime inferior, do tipo hipo- e hiperpicnais, gerando uma camada lenticular de 5 centímetros com gradação inversa. Esta é uma estrutura pontual que pode representar a entrada sedimentos terrígenos sílticos/arenosos no lago, provavelmente causada por eventos de tempestade e/ou inundação fluvial, depositado em um ambiente com condições anóxicas (abaixo da quimioclina/termoclina) capaz de propiciar a preservação e acumulação de grande quantidade de matéria orgânica e conteúdo fossilífero, com valores de COT variando entre 1 e 7 %, chegando até 14%, representando momento de maior anoxia no lago. As lâminas de ostracodes podem ter sido formadas por eventuais quebras da quimioclina/termoclina, durante mistura de águas anóxicas e subóxicas, provavelmente causada por eventos de tempestade ou inundações fluviais no lago.

A MF 5 (Siltito preto maciço) representa decantação de lama em um ambiente de baixa energia em águas anóxicas, abaixo da quimioclina/termoclina. A presença de bioclastos

fragmentados de tamanho areia muito fina/fina e raro intraclasto de calcilutito com ostracode pode indicar um ambiente mais proximal que a MF 4. A alteração composicional dos argilominerais observada em lâmina provavelmente ocorreu devido à percolação de fluidos durante diagênese.

A MF 6 (Siltito verde laminado rico em ostracodes) representa decantação de lama com frequentes eventos de mortandade de ostracodes, em um ambiente de baixa energia em águas subóxicas, acima da quimioclina/termoclina. O valor baixo de RI (Figura 15) representa o conteúdo de ostracodes e cimentação por calcita. Bioturbações encontradas localmente sugerem que este ambiente, em determinado momento, apresentou condições propícias para colonização do substrato por organismos. A alternância de decantação de lama com níveis de mortandade de ostracodes podem representar quebra da quimioclina/termoclina, que misturam águas óxicas e anóxicas. Somado à ocorrência de gretas de diástase e injectitos de areia sin-deposicionais nestes intervalos, esta alternância pode indicar abalos sísmicos na bacia.

A MF 7 (Siltito verde maciço) representa decantação de lama em um ambiente de baixa energia em águas subóxicas, acima da quimioclina/termoclina. As camadas lenticulares de silte/areia muito fina, com base erosiva e gradação normal, indicam que este ambiente sofria influência de fluxos trativos unidirecionais em regime inferior, do tipo hipo- e hiperpicnais. Isto pode representar influxos que traziam sedimentos mais grossos para o centro do lago, possivelmente causados por inundações fluviais e/ou eventos de tempestade. A análise de DRX (Apêndice A) desta microfácies não mostrou diferença nos grupos de argilominerais em relação aos da microfácies MF 5. Isto, possivelmente, ocorre devido à diferença de proporção de alguns argilominerais em relação aos outros, e, sendo a análise não-quantitativa, e sim qualitativa, não apresenta a diferença mineralógica esperada. Assim, acredita-se que o contato erosivo entre as MF 5 e MF 7 (Estampa XI), que representa uma mudança das condições de anoxia no ambiente, pode ter ocorrido devido à atividade tectônica na bacia.

A MF 8 representa fluxos trativos seguido de reorganização biogênica em lama em um ambiente de águas óxicas/subóxicas. A presença de intraclastos de argila pode representar um evento de tempestade que remobilizou o fundo, causando quebra da quimioclina/termoclina. Com isso, o ambiente passou a ter condições propícias para a colonização do substrato.

A MF 9 representa fluxos unidirecionais trativos possivelmente associados a um ambiente distal de um delta (prodelta). Estas camadas com gradação inversa intercaladas com os argilitos da MF 2, indicam que a frente deltaica avançava para dentro do lago.

Os gráficos de COT, Enxofre Total (S%) e Resíduo Insolúvel (RI) nos permite correlacionar períodos de anoxia no lago, como discutido no Subcapítulo 4.3. Na Figura 17, as linhas tracejadas azuis representam valores elevados de COT, S e RI, o que sugere uma condição anóxica capaz de preservar (acumular) matéria orgânica; e linhas tracejadas vermelhas representam valores baixos de COT, e, geralmente, valores baixos de S; o alto valor de S associado pode representar posterior diagênese, como discutiremos a seguir. A partir desta interpretação, podem-se separar três intervalos baseados nas condições paleoambientais: (1) condições anóxicas e (2) condições óxicas, ambas em regime de lago baixo; (3) frequentes variações entre condições anóxicas e óxicas, em regime de lago alto. Nesta correlação também é observado possível Superfície de Inundação Máxima (SIM), associado ao mais alto valor de COT e altas porcentagens de S e RI.

O gráfico de Leventhal (1995) (Figura 16) nos fornece informações sobre as condições de anoxia e paleossalinidade na deposição de cada microfácies. Em geral, o ambiente era considerado com salinidade relativamente alta - o que corrobora com os dados encontrados por Maffissoni (2000) e Azambuja *et al.* (1998) para o lago da Formação Morro do Chaves, como citado no Subcapítulo 3.3.1.

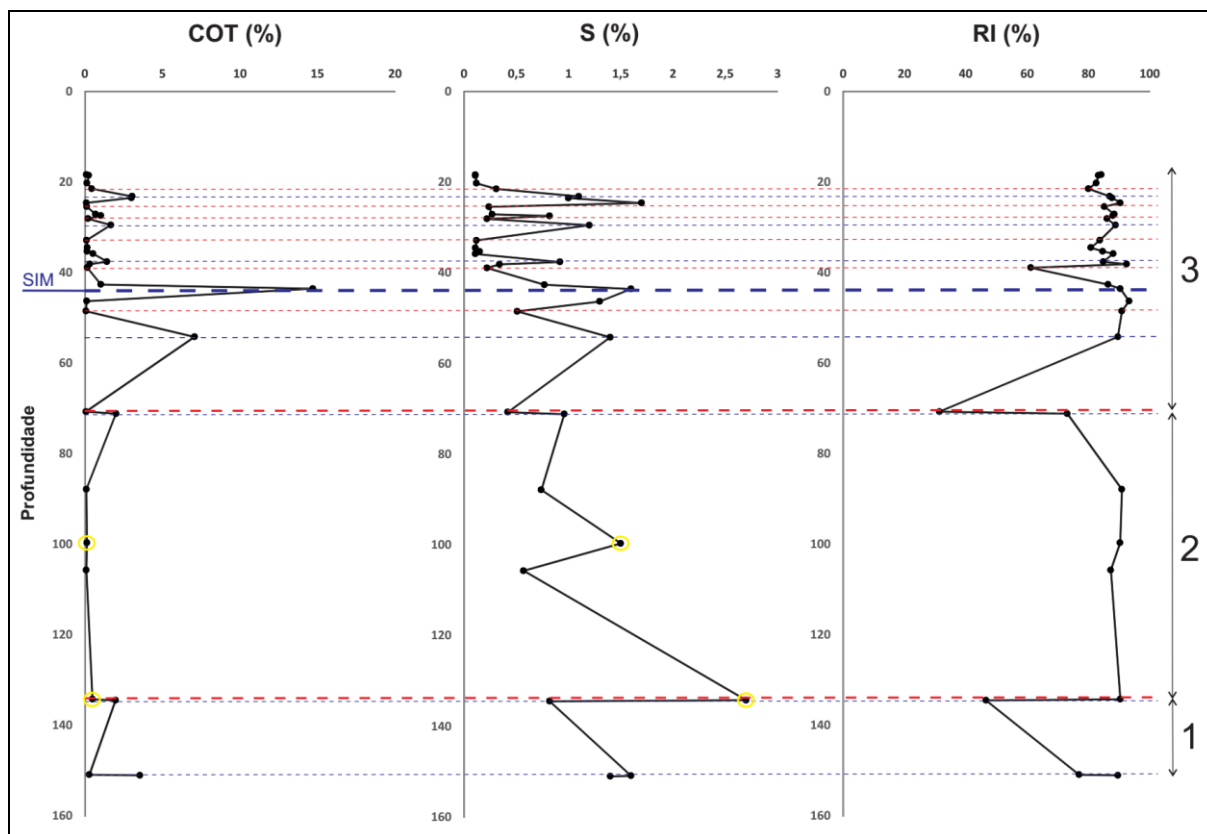


Figura 17 - Correlação entre os gráficos de COT x S x RI, definindo três intervalos de mudanças nas condições paleoambientais. Linhas tracejadas vermelhas representam condições oxidantes e azuis representam condições redutoras no ambiente. A linha tracejada azul mais espessa representa uma possível Superfície de Inundação Máxima (SIM). Círculos amarelos representam valores de COT < 1% associados a S > 1%.

Leventhal (1995) afirma que sedimentos que contém valores altos de S (> 1%) em associação a baixos valores de COT (< 1%) podem ser resultados de processos diagenéticos que adicionam HS^{-1} ao ambiente e que, combinado ao Fe^{+2} disponível, formam pirita. Assim, o autor concluiu que esta sulfetação pós-deposicional pode estar relacionada à percolação de fluidos posteriores. As amostras que atendem a estas condições, circulas em amarelo no gráfico da Figura 15, serão aqui considerados como decorrentes de processos pós-deposicionais, não sendo confiáveis para interpretar as condições salinas do ambiente deposicional. Com isso, por exemplo, o baixo valor de COT associado ao alto valor de S da MF 5 pode estar ligado a diagênese que esta sofreu, corroborando com o que foi descrito na microfácies.

A análise de DRX não apresentou grande variação na composição mineralógica da fração argila nos intervalos estudados. A composição se deu, basicamente, por quartzo, muscovita, feldspato (microclina) e argilominerais dos grupos da caolinita, clorita e illita. Na MF 3 observa-se também calcita e albita, e na MF 6, calcita. Este resultado corrobora com o que se descreve em lâmina e se observa no gráfico de RI nas profundidades 70,70 m (MF 6) e 38,92 m (MF 3).

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A partir da descrição de testemunhos, da análise integrada dos dados geoquímicos e geofísicos de poço, além da análise de DRX obtida, foi possível caracterizar nove microfácies sedimentares, sendo oito siliciclásticas e uma carbonática, que contribuíram para a interpretação paleoambiental proposta na literatura da Formação Morro do Chaves para a área estudada.

Os litotipos encontrados tratam-se predominantemente por argilitos e siltitos, que representam depósitos subaquosos de baixa energia sobrepostos, predominantemente, às coquinas inteiras (não fragmentadas), representando um aumento no nível do lago, que corrobora com a hipótese proposta por Tavares *et al.* (2015).

A partir da interpretação dos dados da Estampa XXI, principalmente, do estudo da variação microfaciológica dos "folhelhos" na seção carbonática, é possível concluir que as coquinas sofreram afogamentos devido a variações climáticas que, em alguns intervalos, estão associadas a eventos tectônicos, em condições de salinidade relativamente alta no lago.

A análise integrada dos perfis (Estampa XXI) nos permite observar que os altos valores de COT coincidem com os maiores valores no perfil de Raio-Gama e são correlacionados às linhas azuis interpretadas na Figura 15; da mesma forma, baixos valores de COT coincidem com valores mais baixos de radioatividade no perfil de Raios-Gama. Dito isso, a partir da base do perfil litológico (Estampa XXI) em direção ao topo ocorre deposição de folhelhos escuros (MF 4 e MF 5) em condições redutoras (anóxicas) do ambiente, representando o Intervalo 1 descrito (Figura 17). A partir da profundidade aproximada de 134,17 m em direção ao topo, representando o Intervalo 2, nota-se que ocorre uma mudança nas condições paleoambientais, tornando-o mais óxico/disóxico, que interrompe a deposição de folhelhos escuros e permite a deposição de siltitos esverdeados e proliferação de ostracodes,

culminando na deposição das microfácies MF 6 e MF 7. As evidências de gretas de diástases e injectitos sin-deposicionais nestes intervalos nos permite interpretar que esta mudança nas condições de anoxia pode ser resultado da associação entre o clima e a atividade tectônica atuante no paleoambiente. A deposição de folhelhos escuros (MF 4) a partir da profundidade aproximada de 54,00 m em direção ao topo, representando o Intervalo 3, indica um aumento no nível relativo do lago, que propiciou preservação de matéria orgânica em condições anóxicas, com valores de COT de até 7% e aumento nos valores de Raios-gama, onde é interpretado uma possível Superfície de Inundação Máxima (SIM), que afoga e interrompe a deposição de toda a sequência de coquinas da Formação Morro do Chaves.

O Intervalo 3 apresenta frequente alternância entre condições óxicas/disóxicas e anóxicas no ambiente deposicional, comumente apresentando mosqueamento entre a transição dos argilitos correspondentes (microfácies MF4 para MF 1/MF2). No perfil de microfácies é possível notar que, neste intervalo, o fator predominante na deposição de sedimentos é a variação climática. Isto se reflete nos perfis de COT e Raios-Gama, que apresentam variações frequentes entre valores altos e baixos, alternadamente. Neste intervalo há menores evidências de atividades tectônicas, mas ainda assim apresenta injectitos nos argilitos da MF 2, influenciando nas características presentes da MF 3. Este intervalo pode representar contexto de lago alto que afoga a sequência de coquinas.

O perfil litológico descrito apresenta um aumento na entrada de terrígenos e sedimentos mais grossos (MF 9) conforme segue para o topo. Esta variação pode representar uma gradual transição para sedimentação siliciclástica de origem flúvio-deltaica da Formação Coqueiro Seco, que se sobrepõem aos depósitos lacustres da Formação Morro do Chaves (Figueiredo, 1981).

Recomenda-se em estudos futuros a realização de análise de MEV, para uma melhor compreensão dos argilominerais presentes nas rochas, a fim de solucionar possíveis dúvidas

em relação à análise de DRX. Também entende que se faz necessário o estudo detalhado de fósseis e icnofósseis encontrados nos folhelhos, para uma melhor caracterização paleoambiental, além de análise geoquímica orgânica mais completa, como a utilização da ferramenta de Pirólise Rock-Eval, para complementar os estudos relativos à matéria orgânica dos folhelhos da Formação Morro do Chaves.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AZAMBUJA, N. C.; ARIENTI, L. M. Guidebook to the Rift–Drift Sergipe–Alagoas Passive Margin Basin, Brazil. In: **The 1998 AAPG International Conference and Exhibition**. 113 p. 1998.
- BERNER, R.; RAISWELL, R. 1984. C/S method for distinguishing freshwater from marine sedimentary rocks. **Geology** 12, 365-368.
- BOGGS, S. **Petrology of Sedimentary Rocks**. 2. ed. Cambridge: Cambridge Press, 2009. 600p.
- BORGES, J. Pesquisas de Fósseis em Jabotão e Morro do Chaves, Brasil. **Serviço Geológico e Mineralógico**, Notas preliminares e estudos, 15, p. 7–11. 1937.
- BORGHI, L. Visão Geral da Análise de Fácies Sedimentares do Ponto de Vista da Arquitetura Depositional. **Boletim Museu Nacional**, Rio de Janeiro, p. 53-26, 2000.
- CARELLI, T. G. **Caracterização de Microfácies Sedimentares em folhelhos da Formação Ponta Grossa (Devoniado), na borda leste da Bacia do Paraná**. 2010. 18f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- FIGUEIREDO, A. M. F. **Depositional Systems in the Lower Cretaceous Morro do Chaves and Coqueiro Seco Formations, and their Relationship to Petroleum Accumulations, Middle Rift Sequence, Sergipe–Alagoas Basin, Brazil**. 275 p. Austin, 1981. Tese de Doutorado – The university of Texas in Austin.
- FEIJÓ, F. J. Bacia de Sergipe-Alagoas. **Boletim de Geociências PETROBRÁS**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p. 149–161. 1994.
- LANA, M. C. Bacia de Sergipe–Alagoas: Uma Hipótese de Evolução Tectono–Sedimentar. In: GABAGLIA, G. P. R.; MILANI, E. J. **Origem e Evolução de Bacias Sedimentares**. Rio de Janeiro: Editora Gávea, 1990. 415p.

LEVENTHAL, J. S. 1995. Carbon-sulfur plots to show diagenetic and epigenetic sulfidation in sediments. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, 59 (6): 1207-1211.

LEVENTHAL, J. S. 1983. An interpretation of carbon and sulfur relationships in Black Sea sediments as indicators of environments of deposition. **Geochimica et Cosmochimica Acta** 47, p. 133-137.

LIMA, R. A. **Caracterização Geoquímica e Avaliação do Potencial Petrolífero do Permo-Carbonífero da Bacia do Chaco-Paraná**. 2004. 53f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Geologia) – Curso de Graduação em Geologia, Departamento de Geologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

MAFFISSONI, A.F. **Paleoictiofauna da Formação Coqueiro Seco, Aptiano Inferior do estado de Alagoas, Nordeste do Brasil**. 149 p. Porto Alegre, 2000. Tese de Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Muniz M.C. & Bosence D. 2011. Sedimentology and stratigraphy of continental rift carbonates in the Early Cretaceous (pre-salt) of the Campos Basin Brazil. In: 14th Bathurst Meeting of Carbonate Sedimentologists, Bristol, **Anais**.

NETO, O. P. A. C.; LIMA, W. S.; CRUZ, F. E. G. Bacia de Sergipe–Alagoas. **Boletim de Geociências PETROBRÁS**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 405–415. 2007.

POTTER, P.E., MAYNARD, J.B. & DEPETRIS, P.J. **Mud and Mudstones**. Berlin: Springer Verlag, 297 p., 2005.

OLIVEIRA, P. E. Fósseis de Propriá e Jaboatão, **Estado de Sergipe. Serviço Geológico e Mineralógico**, Notas preliminares e estudos, 15, p. 11–16. 1937.

SCHALLER, H. 1969. Revisão Estratigráfica da Bacia Sergipe-Alagoas. Bol. Tec. Petrobras, 12 (1):21-86.

SCHIEBER, J. Oxidation of detrital pyrite as a cause for Marcasite Formation in marine lag deposits from the Devonian of the eastern US. **Deep-Sea Research II**, v. 54 p. 1312–1326, 2007 (b).

SOUZA, F. A. L. **Correlação de porosidade de dados de testemunhos com perfil sintético de porosidade efetiva na Bacia de Resende - Rio de Janeiro - RJ**. 2009. 63 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Programa de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

SOUZA-LIMA, W.; ANDRADE, E. J.; BENGTON, P.; GALM, P. C. A Bacia de Sergipe-Alagoas: evolução geológica, estratigrafia e conteúdo fóssil. Aracaju: **Fundação Paleontológica Phoenix**, 2002. 34 p. Edição especial, 1.

TAVARES, A. C. *et al.* Facies and depositional environments for the coquinas of the Morro do Chaves Formation, Sergipe-Alagoas Basin, defined by taphonomic and compositional criteria. **Braz. J. Geol.**, São Paulo, v. 45, n. 3, p. 415-429, Sept. 2015.

TEIXEIRA, B. F. L. **Coquinas da Formação Morro do Chaves (Cretáceo Inferior), seção Rife da Bacia de Sergipe-Alagoas**. 2012. 107f. Trabalho de conclusão de curso. (Bacharelado em Geologia) – Curso de Graduação em Geologia, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

TUCKER, M. E. Sedimentary petrology: an introduction to the origin of sedimentary rocks, 3. Ed Oxford: Blackwell, 2001. ISBN 0632057351.

WINTER, W.R.; JAHNERT, R.J.; FRANÇA, A. B. Bacia de Campos. **Boletim de Geociências da Petrobrás**. Rio de Janeiro, v.15, n.2, p.511-529, 2007.

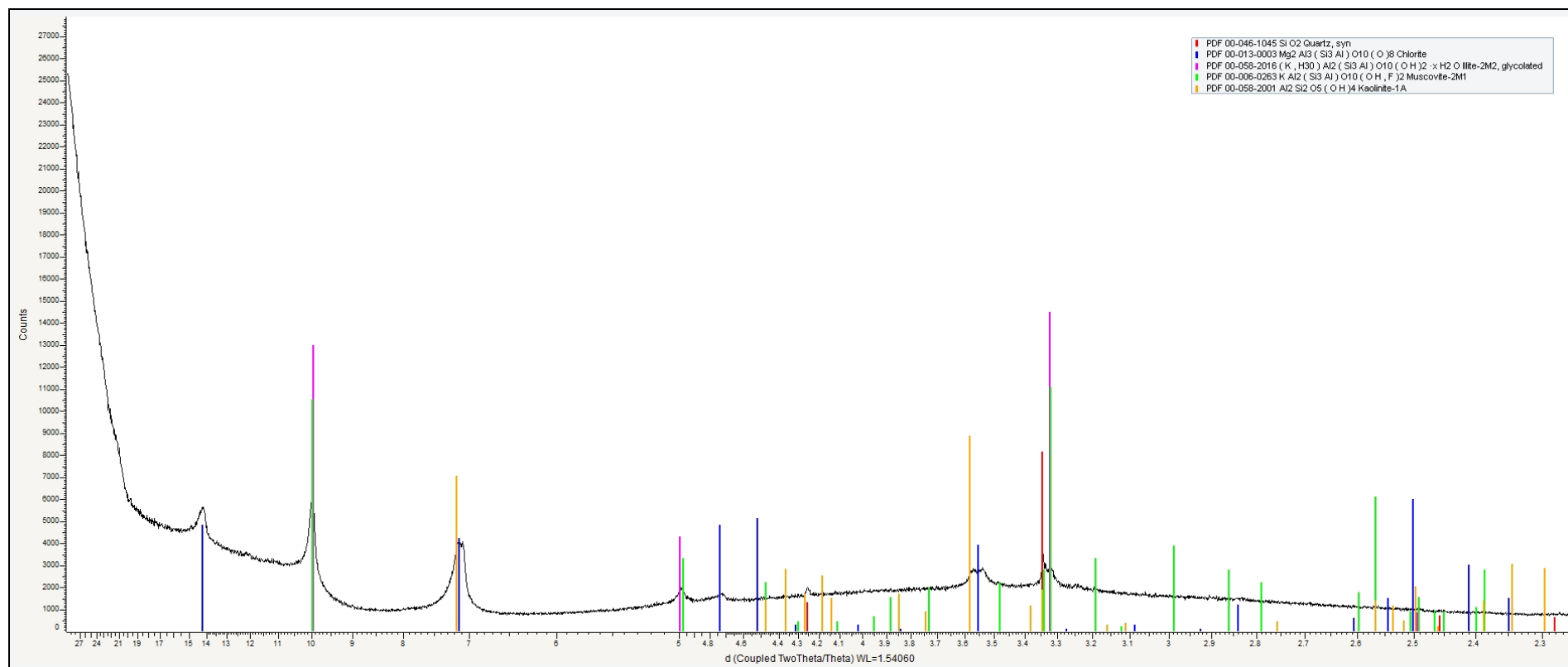
Apêndice A – Tabela de amostras coletadas para análises

Tabela de amostras coletadas para análises petrográfica, geoquímica e DRX

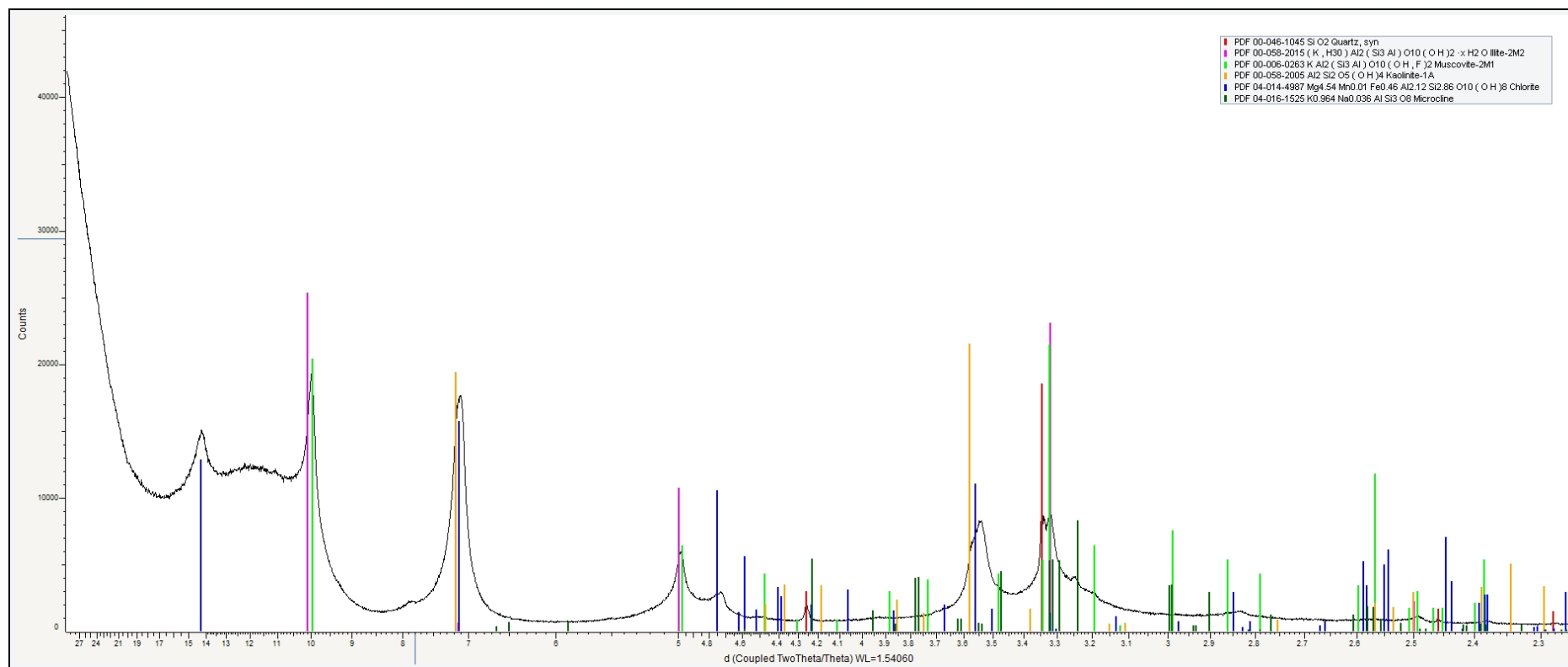
	COT	LÂMINA	DRX
Amostras	Profundidade (m)		
1	18,4	-	18,4
2	18,55	19,38	-
3	20,25	20,17	20,25
4	21,5	-	21,5
5	23,16	23,16	23,5
6	23,5	-	-
7	24,6	-	-
8	25,43	25,3	25,42
9	27,1	-	-
10	27,44	-	-
11	28,1	28,93	-
12	29,5	-	29,5
13	32,85	-	-
14	34,5	34,5	34,5
15	35,3	35,3	-
16	35,83	35,83	-
17	37,6	37,85	-
18	38,12	38,15	-
19	38,92	38,95	38,95
20	42,62	-	-
21	43,55	43,5	43,5
22	46,3	46,3	-
23	48,5	48,48	48,48
24	54,2	53,83	53,83
25	70,7	70,75	-
26	71,14	70,95	70,95
27	87,85	87,85	87,85
28	99,65	99,75	99,65
29	105,67	105,67	105,67
30	-	134,1	134,1
31	134,2	134,17	134,17
32	134,43	134,35	134,35
33	150,85	150,7	150,7
34	150,98	150,9	150,9

Apêndice B – Análises de DRX

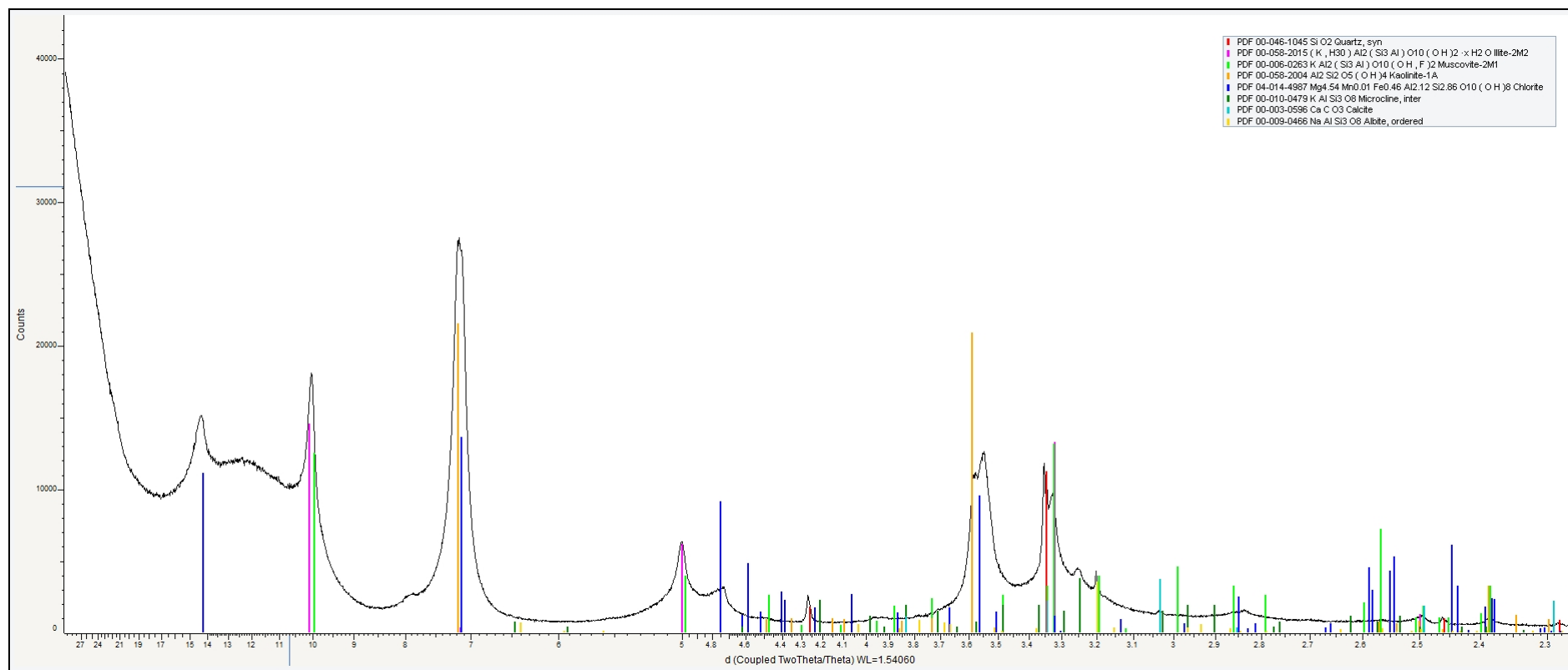
Difratogramas referentes a cada microfácies definida neste trabalho



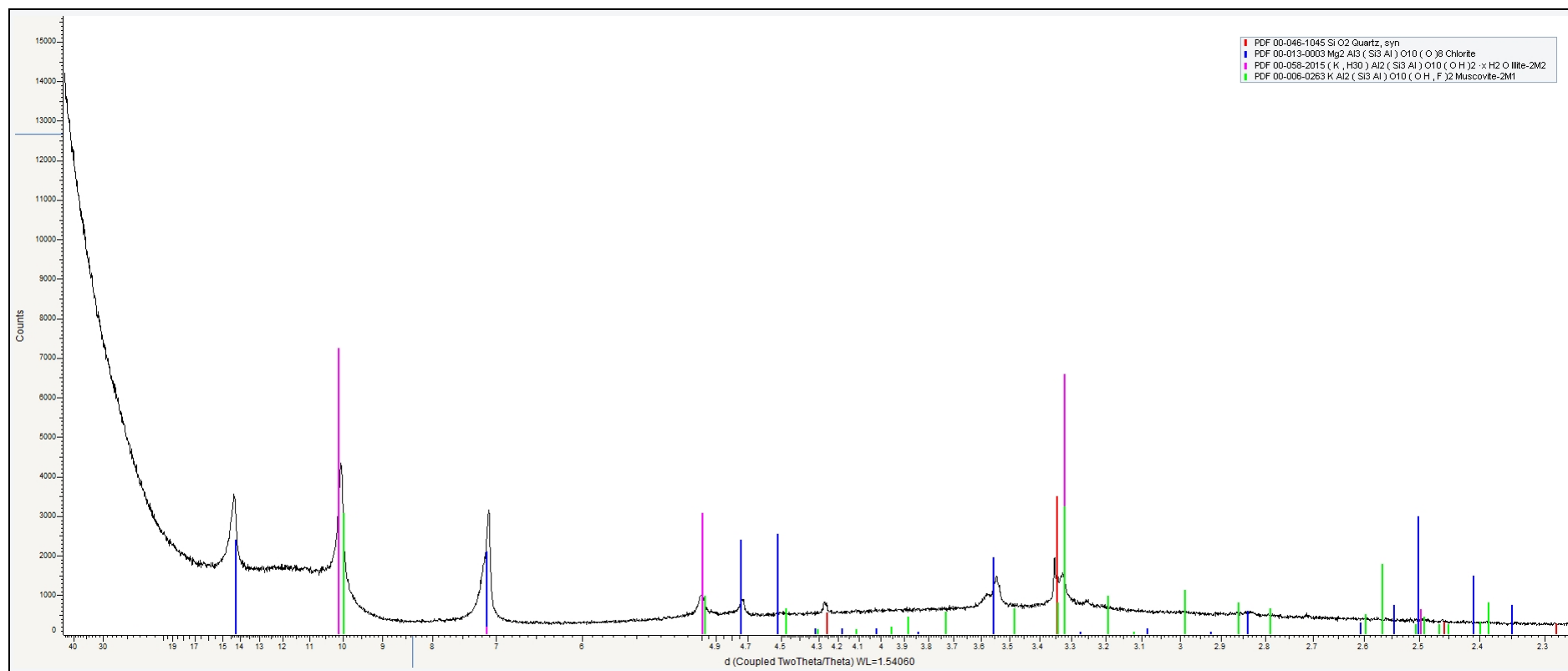
Análise de DRX da microfácies MF 1 (Argilito verde laminado).



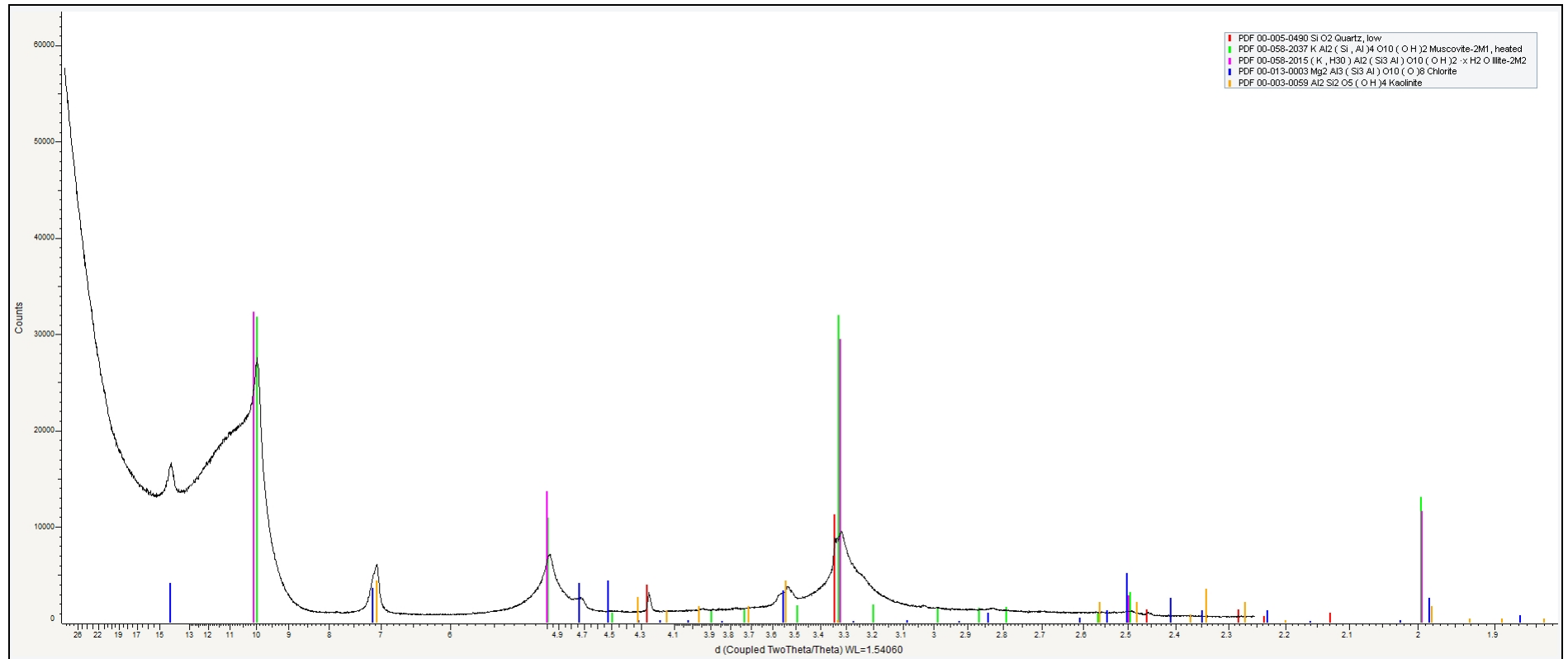
Análise de DRX da microfácies MF 2 (Argilito verde maciço).



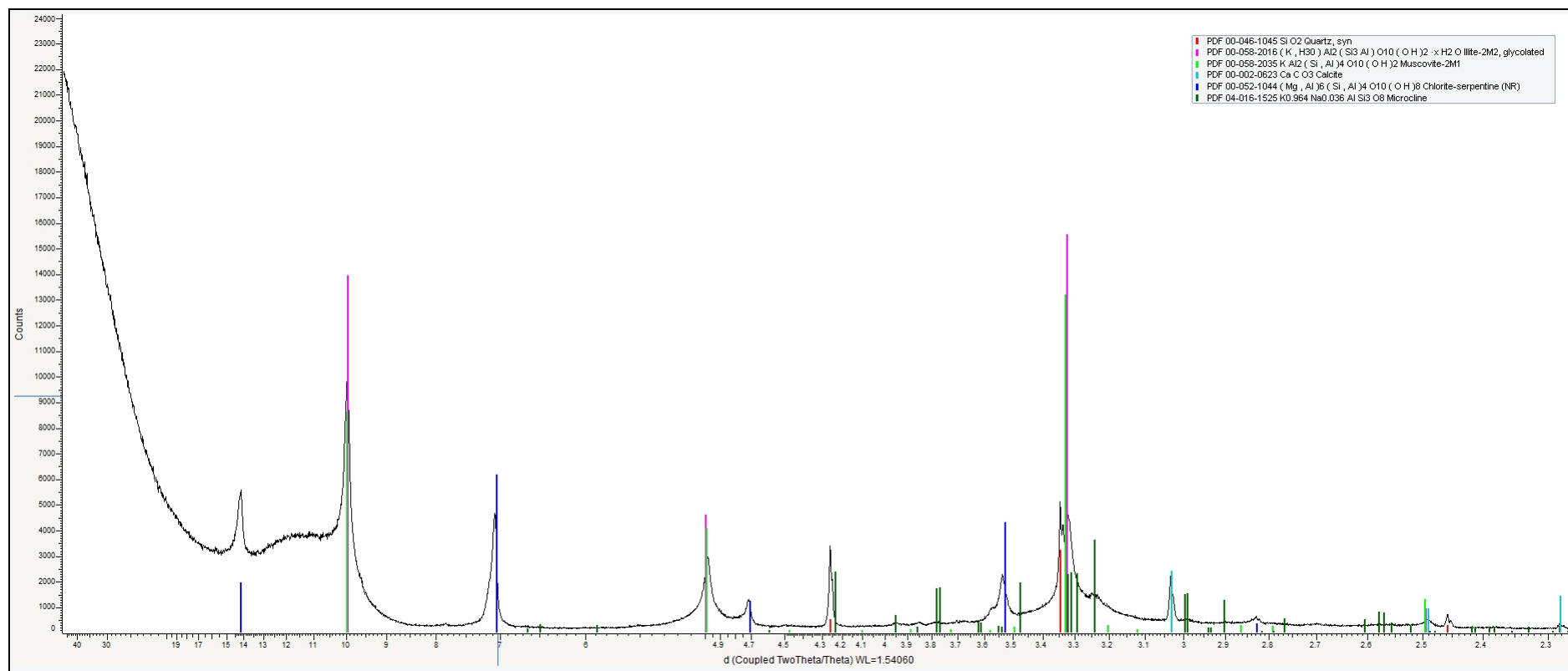
Análise de DRX da microfácies MF 3 (Calcário microcristalino).



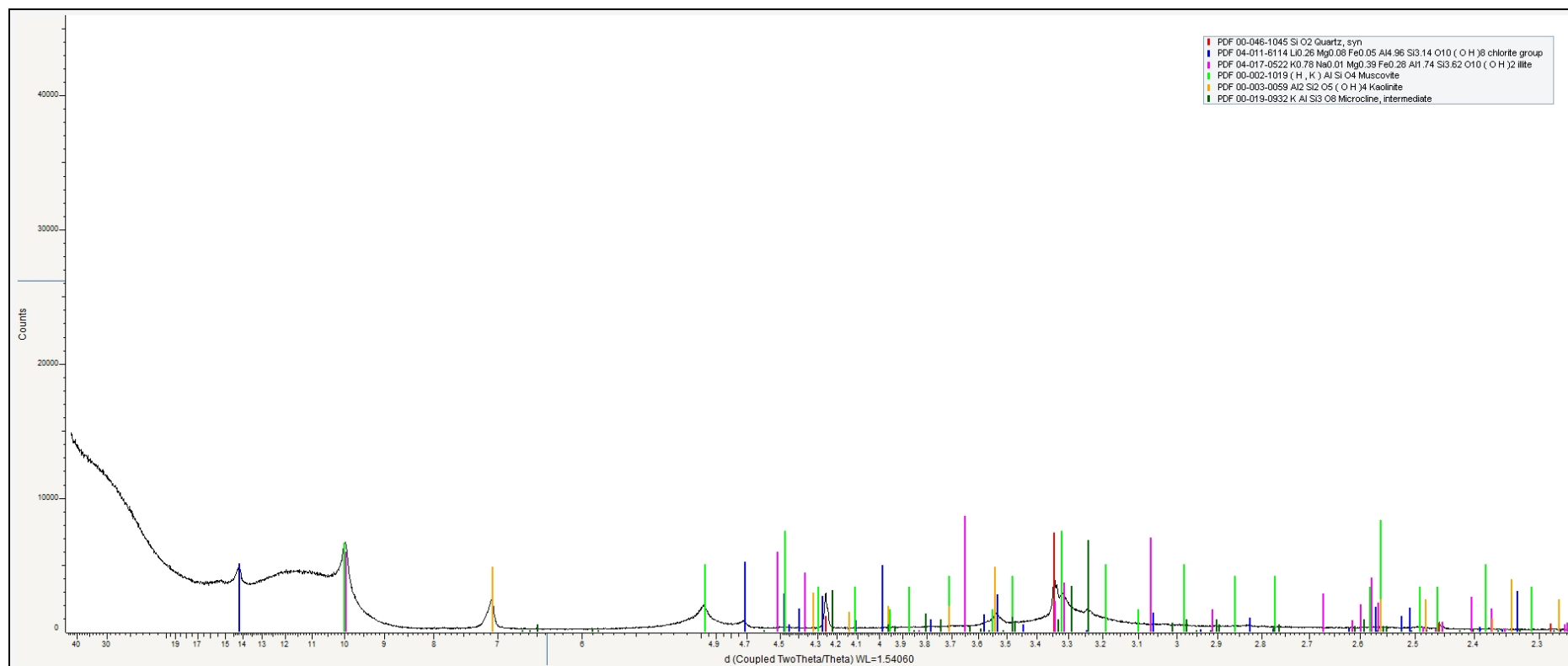
Análise de DRX da microfácies MF 4 (Folhelho preto laminado).



Análise de DRX da microfácies MF 5 (Siltito preto maciço).



Análise de DRX da microfácies MF 6 (Siltito verde laminado rico em ostracodes).



Análise de DRX da microfácies MF 7 (Siltito verde maciço).